

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2019

Bc. Štěpán Damajka

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského
inženýrství

Měřicí systém pro měření a vyhodnocení
akustického signálu

System for Measurement and Evalution of Acustic
Signal

2019

Bc. Štěpán Damajka

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Štěpán Damajka

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2612T041 Řídicí a informační systémy

Téma:

Měřicí systém pro měření a vyhodnocení akustického signálu
System for Measurement and Evaluation of Acoustic Signal

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je návrh a realizace měřicího systému pro měření akustického signálu s jeho následným vyhodnocením ve vývojovém prostředí LabVIEW. Měření probíhá během testování imunity světlometů v EMC komoře.

Body zadání:

1. Provedení literární rešerše v oblasti měření akustického signálu.
2. Výběr vhodné HW komponenty.
3. Vytvoření ovládací aplikace v prostředí LabVIEW.
4. Návrh vhodného způsobu vyhodnocení změřeného signálu (zachycení nežádoucího jevu nebo kontrola stálosti parametrů probíhajícího jevu).
5. Zajištění kompatibility se SW EMC 32 od firmy Rohde & Schwarz (informace OK/NOK do EMC 32), informací o průběhu testu (frekvence, intenzita pole, modulace) v případě vyhodnocení nesprávného chování měřeného vzorku. Záznam NOK signálu pro pozdější vyhodnocení včetně metadat.
6. Odzkoušení spolehlivosti systému pomocí referenčních měření.
7. Zhodnocení výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. 1. vyd. Ilustrace Viktorie Vlachová. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 247 s. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [2] BRESS, Thomas J. *Effective labview programming*. 1st ed. Allendale: NTS Press, 2013, 701 s. ISBN 19-348-9108-8.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Petr Bilík, Ph.D.**

Datum odevzdání: 30.04.2019

0.2

h

prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 30.4.2019

podpis: *Danajka*

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu doc. Ing. Petru Bilíkovi Ph.D. za odborné vedení, za pomoc a cenné rady při zpracování této práce.

Rovněž bych chtěl poděkovat zaměstnancům společnosti HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o., jmenovitě Ing. Heleně Blažkové a Ing. Ondřeji Adámkovi za odborné rady a pomoc při plnění zadaného úkolu.

Abstrakt

Cílem diplomové práce bylo navrhnout a realizovat testovací systém pro měření a vyhodnocení akustického signálu uvnitř EMC komory, a to z důvodu monitorování parametrů světlometu v průběhu testování. Hlavním úkolem softwaru je kontrolovat krokový motorek umístěný uvnitř světlometu, sloužící k nastavení sklonu svítícího modulu.

V teoretickém úvodu je provedeno základní seznámení s měřením EMC. Poté je vypracována rešerše o zvukovém signálu, metody snímání akustického tlaku a výběr vhodných komponent k sestavení měřicího systému.

Celý systém se skládá z optického mikrofonu FOMIC-SM 2140, měřicí karty USB-6210 a navrženého softwaru vytvořeného ve vývojovém prostředí LabVIEW. Výsledný software je schopen kontrolovat krokový motorek při neustálém pohybu a v takzvaném off-módu, kdy se naopak motorek nesmí pohnout.

Klíčová slova

Testovací systém, měření EMC, optický mikrofon, LabVIEW

Abstract

Target of this diploma thesis was to design and develop the test system for measurement and evaluation of acoustic signal inside of the EMC chamber. The purpose is to monitor functionality of the headlamp during testing. Main purpose of the software is to monitor the stepper motor headlamp leveller.

In introduction part of this work basic principles of EMC measurement are described. Recherche about acoustic signal, methods of detection of acoustic pressure and selection of appropriate components of resulting system follows.

The whole system composes of optical microphone FOMIC-SM 2140, data acquisition device USB-6210 and software developed in LabVIEW. Resulting system is able to monitor the stepper motor during continuous movement and so called off-mode, when the motor shall not move.

Key words

Testing system, measuring EMC, optical microphone, LabVIEW

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	7
Seznam ilustrací	8
Seznam tabulek	9
1 Úvod	10
2 Teoretický rozbor	11
2.1 Popis světlometu	11
2.2 Popis EMC testování	13
2.3 Popis měřicího řetězce	16
2.3.1 Zvuk a jeho chování	16
2.3.2 Snímače zvuku	19
2.3.3 Mikrofon Fomic-SM 2140	21
2.3.4 Zpracování signálu	22
2.3.5 Měřicí karta NI USB-6210 [7]	23
2.3.6 Výsledný měřicí řetězec	26
2.3.7 Vývojové prostředí LabVIEW	27
3 Praktická část	29
3.1 Popis realizovaného softwaru	29
3.1.1 Sběr dat pomocí DAQmx	30
3.1.2 Ukládání dat	31
3.2 Měřicí módy	32
3.2.1 Off-mód	32
3.2.2 Dynamický mód	35
3.3 Rozbor čelního panelu	39
3.3.1 Zajištění kompatibility se SW EMC32	41
3.3.2 Hardwarová konfigurace	45
3.4 Validace měřicího systému	46
4 Závěr	51
Použitá literatura:	52
Seznam příloh na CD:	53

Seznam použitých symbolů a zkratek

ADC	Analog to Digital Converter – analogově digitální převodník
AN	Artificial Network – umělá síť
BCI	Bulk Current Injection – injektáž proudu
CBCI	Common mode Bulk Current Injection – společná injektáž proudu
CE	Conducted Emission – rušení po vedení
CI	Conducted Immunity – imunita po vedení
DAQ	Data Acquisition – sběr dat
DBCI	Different mode Bulk Current Injection – rozdělená injektáž proudu
DFT	Discrete Fourier Transform – diskrétní Fourierova transformace
DI	Direction Indicator – směrový indikátor, blinkr
DRL	Daytime Running Light – denní svícení
DTW	Dynamic time warping – borcení časové osy
DUT	Device Under Test – testovaný předmět
EMC	Electromagnetic Compatibility – kompatibilita
EMI	Electromagnetic Interference
EMS	Electromagnetic Suscebility – susceptibilita
EUT	Equipment Under Test – testovaný předmět
FFT	Fast Fourier Transform – rychlá Fourierova transformace
HB	High Beam – dálková světla
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering – grafický programovací jazyk
LB	Low Beam – tlumená světla
LED	Light-Emitting Diode – dioda emitující světlo
LISN	Line Impedance Stabilizing Network – umělá zátěž vedení
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems – mikro elektrické mechanické systémy
NI	National Instruments
PO	Position Light – poziční svícení
PWM	Pulse Width Modulation – pulzní šířková modulace
RE	Radiated Emission – rušení vyzařováním
RI	Radiated Immunity – imunita vyzařováním
SNR	Signal to Noise Ratio – poměr signálu k šumu
VI	Virtual Instrumentation – virtuální instrumentace

Seznam ilustrací

Obr. 1 Příklad světlometu.....	12
Obr. 2 Náklon vozu[6]	12
Obr. 3 Příklad EMC komory	13
Obr. 4 Základní dělení EMC metod	14
Obr. 5 Měřicí test set-up.....	15
Obr. 6 Měřicí řetězec.....	16
Obr. 7 Frekvenční rozsah okolních signálů [3].....	18
Obr. 8 Příklad frekvenčního spektra	18
Obr. 9 Princip MEMS mikrofonu[9].....	20
Obr. 10 Princip optického mikrofonu	21
Obr. 11 Fomic – SM 2140.....	22
Obr. 12 Jednotka EOU 100	22
Obr. 13 Příklad vzorkování	23
Obr. 14 USB-6210 [7].....	24
Obr. 15 Blokové schéma analogového vstupu	25
Obr. 16 Měřicí řetězec.....	27
Obr. 17 Příklad čelního panelu.....	28
Obr. 18 Příklad blokového diagramu	28
Obr. 19 Blokový měřicí diagram.....	29
Obr. 20 Struktura producent/konzument	30
Obr. 21 Sběr dat pomocí DAQmx.....	31
Obr. 22 Ukládání dat	32
Obr. 23 Příklad signálu z mikrofonu v čase sepnutí motorku	33
Obr. 24 Off-mode diagram.....	33
Obr. 25 Příklad NOK výsledku off módu	34
Obr. 26 Funkce off modu	35
Obr. 27 Příklad zvuku z motorku	35
Obr. 28 Zjednodušený diagram vyhodnocení dynamického módu.....	37
Obr. 29 Vyhodnocení dynamického módu.....	38
Obr. 30 Navržený algoritmus k vyhodnocení dynamického módu.....	38
Obr. 31 Rozdělení čelního panelu	39
Obr. 32 Příklad chyby během měření.....	40
Obr. 33 Referenční měření	40
Obr. 34 Hardware setup	41
Obr. 35 Testovací šablona.....	42
Obr. 36 EUT monitoring	43
Obr. 37 EUT monitoring – HW	43
Obr. 38 EUT monitoring – NoGo	44
Obr. 39 Princip monitoringu	44
Obr. 40 Zapojení bočníku.....	44
Obr. 41 HW řešení monitorování akustického signálu	45
Obr. 42 Nastavení NoGo pro mikrofon.....	45

Obr. 43 Obsluha DO výstupu karty.....	46
Obr. 44 Požadovaná testovací úroveň s NOK výsledkem.....	47
Obr. 45 Světelný výstup HB	48
Obr. 46 Odebíraný proud světlometu.....	49
Obr. 47 Data z kontroly mikrofonom dynamického módu	49
Obr. 48 Data z kontroly mikrofonom off-módu	50

Seznam tabulek

Tab. 1 Základní vlastnosti Fomic – SM2140	21
Tab. 2 Základní vlastnosti USB-6210	24
Tab. 3 Vstupní rozsahy karty	26

1 Úvod

Projekt byl realizován ve firmě HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o. nacházející se v Mohelnici. Tato společnost se zabývá vývojem a výrobou předních světlometů a zadních světlů pro automobilový průmysl. K vývoji světlů patří i následné měření vlastností a ověření funkčnosti a spolehlivosti těchto komponent. Z toho důvodu má firma svoji vlastní měřicí zkušebnu vybavenou pro širokou škálu testů. Ta disponuje kompletním testováním světlometů, jako jsou mechanické a chemické zkoušky. Simulace klimatických podmínek v klimakomorách a nyní hlavně elektrické zkoušky, mezi něž patří měření elektromagnetické kompatibility (EMC). Při rozvoji elektroniky se na tento pojem dbá čím dál tím více, a to skrze zvyšující se počet telekomunikačních a radiokomunikačních signálů, které mají nežádoucí účinky na veškerou elektroniku, nejen ve světlometech.

Tato vyvíjená měřicí soustava akustického signálu bude napomáhat k měření uvnitř EMC komory. Během měření imunitních testů, při níž je světlomet ovlivňován definovaným rušením, je důležité monitorovat testované zařízení, zda nedojde k odchylce od požadované funkcionality nebo nenastane jakákoliv chyba. Tou může být například zhasnutí lampy, přerušení komunikace, či pouhé probliknutí jedné z LED. V Případě této práce to bude kontrola pohonu sloužícího k nastavování sklonu svítícího modulu nebo ventilátoru sloužícího k chlazení světlometu.

V teoretické části diplomové práce je v první části uvedeno základní seznámení s testováním EMC vůči světlometu a naznačení skladby předního světlometu. V druhé části už je popisován samotný měřicí řetězec. Konkrétně je vždy probrána základní problematika určité části řetězce, například snímače zvuku a po ní je popsána výsledná komponenta, v tomto případě mikrofon.

V praktické části už je popsáno samotné naprogramované řešení ve vývojovém prostředí LabVIEW s následnou validací systému. Tahle práce by měla napomáhat testovacímu inženýrovi během měření EMC. Výsledkem by mělo být zpřesnění a zautomatizování činnosti, kterou doposud vyhodnocoval subjektivně.

2 Teoretický rozbor

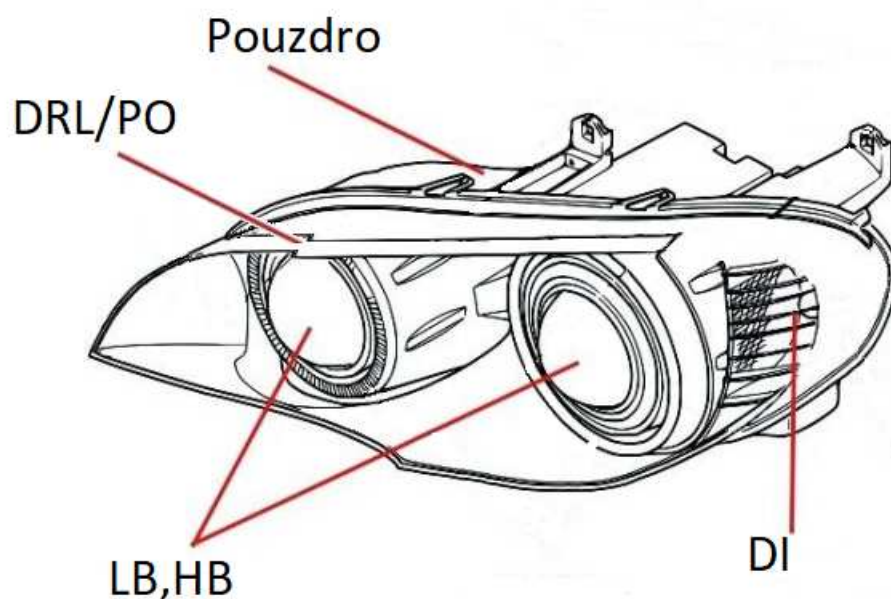
Pro bližší využití mikrofónu je uvedeno základní seznámení se skladbou světlometu a důležité pojmy z EMC testování s měřicími postupy. Tato část je uvedena v první kapitole. Poté už je uveden kompletní popis měřicího řetězce. Text je definován tak, že je vždy probrána základní problematika a poté je popsán a zdůvodněn výběr komponent.

2.1 Popis světlometu

Moderní světlomet se skládá z mnoha částí, už to není pouze žárovka, ochranný kryt a konektor, tak jak to bývalo dříve, kdy měl světlomet celkově do dvaceti komponent. Nyní je složen i ze stovek komponent, to lze rozpoznat i na hmotnosti, kdy některé typy světlometů dosahují váhy až 7 kilogramů. Základní komponenty zůstávají stejné, tedy pouzdro, přední sklo a v některých případech i žárovka, ale dále je světlomet doplněn o řídicí jednotku, ovládanou přes sběrnici (CAN nebo LIN), vnitřní elektroniku aktivní i pasivní chlazení součástek, motorek a přibližně z pěti výstupních světelných prvků. Ty se dělí na osvětlovací a signalizační prvky. Ovšem může jich obsahovat i více. Jak už bývá zvykem, čím dražší zařízení, tím složitější a tím disponuje více funkcemi. Rozdíl může nastat i ve chvíli pro který světový trh je světlomet navrhován. Americký trh má rozdílné požadavky než evropský.

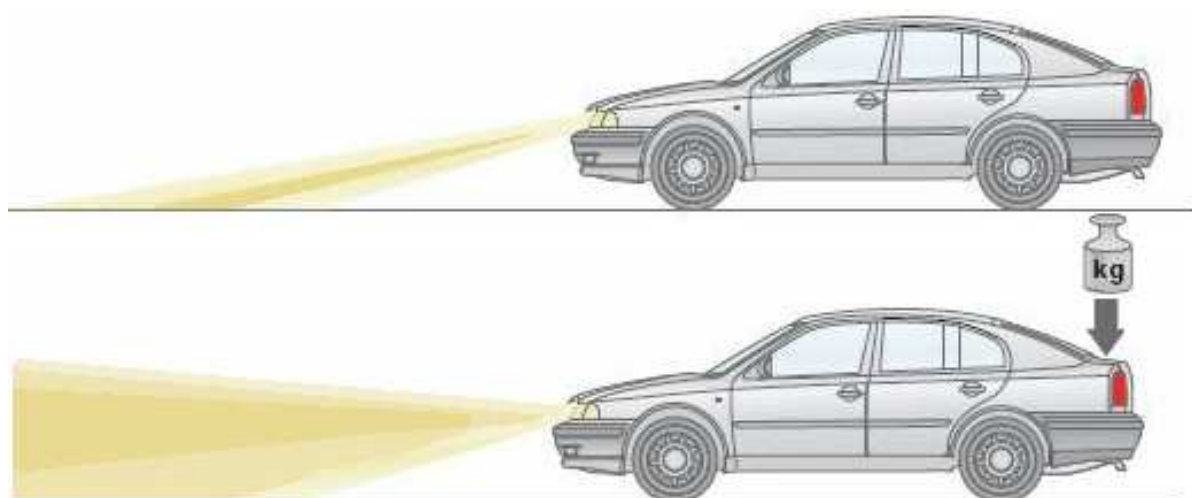
Mezi základní signalizační prvky světlometu patří směrový indikátor (Direction indicator – DI), tedy blinkr, denní svícení (Daytime running light – DRL) a poziční svícení (Position light – PO) to slouží ke zlepšení viditelnosti vozidla například při parkování. Výhodou pozičního svícení je, že šetří akumulátor vozidla a to tím, že je převážně řízené pomocí PWM signálu s nízkou střídou. Denní svícení je využíváno během provozu za denního světla a slouží k upozornění okolních řidičů, aby věděli, že je automobil v provozu a v pohybu. Ve většině případů jsou tyto dvě funkce zajištěné pomocí stejných LED a změnou je právě střída řídicího PWM signálu.

Osvětlovacími prvky k nočnímu provozu světlometu jsou dálková světla (High beam – HB) a tlumená světla (Low beam – LB). Jak už název napovídá, rozdíl je hlavně ve velikosti výstupního světelného kuželu, který pro řidiče zaručuje větší přehled o okolí vozidla během jízdy v noci. Tlumené světlo navíc nesmí oslňovat řidiče jedoucí v protisměru nebo před vozidlem. Na *Obr. 1* je příklad světlometu a možné umístění uvedených funkcí. Hlavními prvky jsou dva moduly s osvětlovacími funkcemi (LB, HB), nad nimi je signalizační lišta s diody sloužícími k dennímu svícení a na boční straně je umístěn blinkr.



Obr. 1 Příklad světlometu

Většina novějších typů světlometů má osvětlovací prvky umístěny v pohyblivých modulech. U starších modelů automobilů se regulace výšky osvětlení prováděla za pomoci otočného spínače s funkcí potenciometru a stejnosměrného motorku. Dalším milníkem této technologie bylo automatické nastavení světlometu při zapnutí motoru, kdy se za pomoci senzorů umístěných na podvozku automobilu, sejmuly aktuální hodnoty nahnutí automobilu a za pomoci krokového motorku se upravil sklon světelných modulů. Posledním a nejmodernějším způsobem je dynamické řízení sklonu světelných modulů během celé jízdy. Jedná se o stejný princip jako je předchozí uvedený typ, tedy také za pomoci krokových motorků, ale tento systém je doplněn o zpětnovazebnou regulaci. Tím je zajištěné automatické naklápění během jízdy. Na Obr. 2 ve spodní části je zobrazen příklad automobilu u kterého je špatně nastaven sklon světla a v tu chvíli může oslňovat protijedoucí auta nebo automobily jedoucí před ním.[6]



Obr. 2 Náklon vozu[6]

2.2 Popis EMC testování

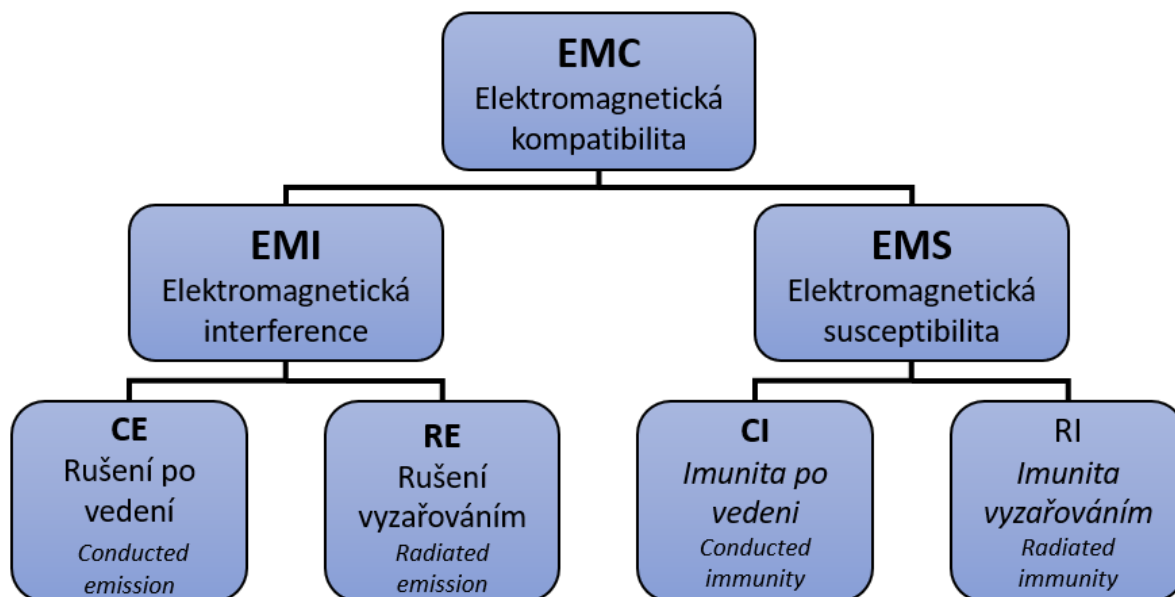
EMC měření probíhají ve speciálních stíněných komorách, které jsou tvořeny z desek ocelových plechů fungujících na principu Faradayovy klece. Vnitřní prostory komor jsou obloženy absorpčním materiálem, ten silně utlumuje odrazy elektromagnetického vlnění a zamezuje tak vzniku nežádoucích interferencí přímého a odraženého vlnění. Jako absorpční obklady se využívají desky složené ze tří materiálů, které mají odstupňované dielektrické parametry a k tomu vodivé desky. Díky tomuto způsobu se absorbuje většina energie elektromagnetických vln. Výhodné je i využívat jehlanovité absorbéry. Jehlany jsou navrženy tak, aby se maximalizoval útlum dopadajících vln na vyšších frekvencích. Zároveň záleží na délce jehlanů. Čím je jehlan delší, tím je jeho funkčnost od nižších frekvencí. Princip je takový, že se dopadající vlna několikrát odrazí mezi jehlany a při každém odrazu ztrácí část své energie, poté co se vrací zpět do vnitřního prostoru komory je celková energie vlny výrazně menší. Materiálem, z něhož jsou jehlany zkonstruovány je polyuretan s grafitovou impregnací. Jedná se o nehořlavý křehký materiál. Je výhodné využívat kombinaci obou zmíněných absorpčních principů, tedy speciálních absorpčních desek a jehlanovitých absorbérů. [1]



Obr. 3 Příklad EMC komory

Na Obr. 3 je zobrazen vnitřek stíněné komory sloužící k testování. Měřený objekt se pokládá na dřevěný stůl s definovanou výškou 90 cm. Na stole je připevněná kovová zemnicí rovina, která je přizemněná ke stěně nebo podlaze komory měďnými pláty. V tomto případě je na stole umístěn signálový generátor ověřující funkčnost antén.

Základní dělení metod EMC a měřicích testů je zobrazené na Obr. 4.



Obr. 4 Základní dělení EMC metod

Elektromagnetická kompatibilita se dělí na dvě základní odvětví. První skupinou je elektromagnetická interference EMI, jinými slovy to je to, co zařízení vyzařuje do svého okolí, tedy emise a elektromagnetickou susceptibilitu EMS. To je schopnost zařízení odolávat definovanému rušení, jinak řečeno imunita zařízení. [1]

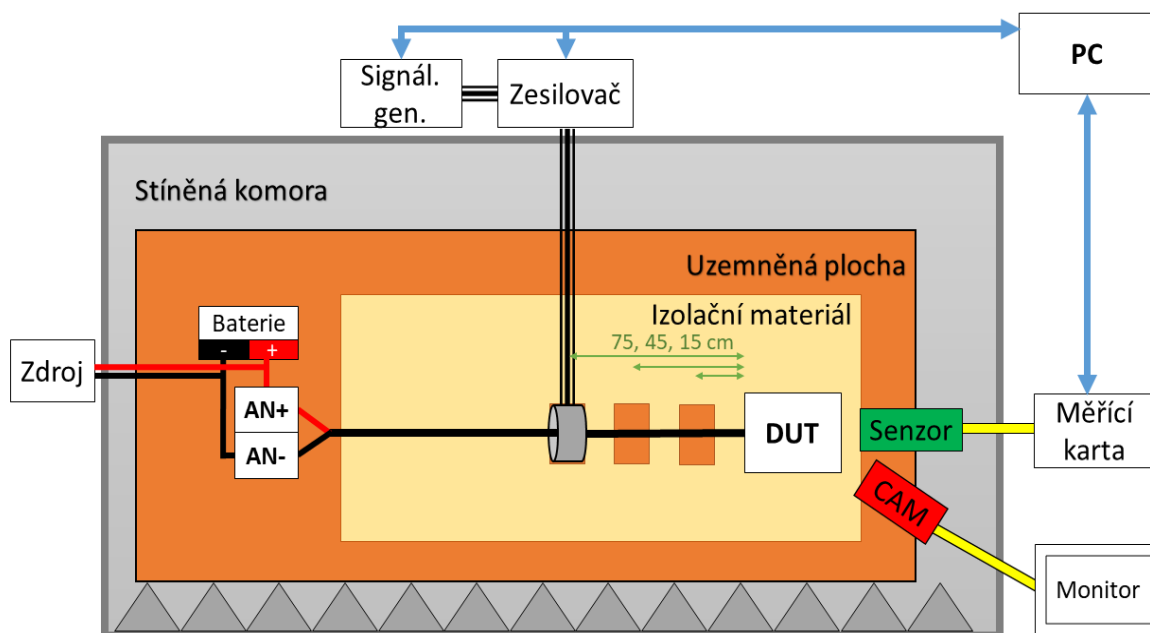
Emisní měření se dále dělí na dvě metody, a to skrze cestu, kterou se šíří rušení od měřeného předmětu. První cestou je rušení po vedení, které se měří pomocí umělé zátěže vedení (LISN – Line impedance stabilizing network) připojené ke speciálnímu měřicímu přijímači vyhodnocujícímu frekvenční spektrum snímaného signálu. Druhým rušením je vyzařování do okolí, které se měří pomocí antén a rovněž se vyhodnocuje pomocí uvedeného přijímače. U imunitního měření je to obdobné. Změnou je, že se u kontaktního měření využívá sonda k injektáži rušení do vedení. U anténního měření se využívá antén k vyzařování definovaného rušení.

Imunitní testování je též označováno jako zátěžové a může se stát, že v některých případech bude i deformační. Rozdílem je testování spotřební elektroniky a testování v automobilovém průmyslu, kdy u RI je typický testovací úroveň 10 V/m, zato v automotive může tato hodnota dosahovat až 200 V/m. Mezi kontaktní testy se zahrnuje i transientní testování. Zde se jedná o přechodné jevy jednorázového rušivého signálu, vznikající při náhlé změně zatížení většinou ohrožující vstupní napájecí elektroniku zařízení. Dalším testem je BCI test (Bulk current injection), kdy se injektuje proud do kabeláže světlometu. BCI se dále dělí na CBCI a DBCI – u prvního jmenovaného je veškerá kabeláž DUT vedena uvnitř injektážní sondy. U DBCI je zemnicí vodič veden mimo tuto sondu.

Vyhodnocení testu je definováno chováním měřeného objektu a jeho funkčností po testu. Doposud se u světlometu vyhodnocoval hlavně světelný výstup, a to připojením optických vláken na světelný modul. K tomu se ještě sledoval odebíraný proud.

Nyní se bude v komoře detailně monitorovat i akustika. K tomu bude sloužit navrhovaný měřicí systém. Hlavní využití bude právě u imunitních testů, kdy bude systém vyhodnocovat, zdali se měřený vzorek chová podle definovaného průběhu.

Na Obr. 5 je naznačen zjednodušený test set-up měření BCI doplněn o senzor zvuku a jeho připojení do měřicího systému. Měřený objekt (označen jako DUT-Device under test) je položen na izolačním materiálu, který je umístěn na měděné desce sloužící jako zemní rovina. Měřený objekt, v tomto případě automobilový světlomet je napájen ze zdroje. Ke zdroji je paralelně připojena autobaterie, sloužící k vyrovnávání proudových špiček. Napájení světlometu je vedeno přes takzvanou umělou síť (označenou jako AN – Artificial network). Ta má dva typy využití, u imunitních testů zabraňuje šíření rušení zpět ke zdroji. U emisních testů funguje na principu horní propusti a odstraňuje případné rušení ze zdroje. Výsledná kabeláž zahrnující napájecí a ovládací vodiče je vedena skrz kleštinu, která injektuje předem definovaný proud do kabeláže, a tedy vnáší rušení. Tato operace se provádí ve třech různých vzdálenostech. Injektovaný rušící signál je sinusového tvaru, kdy je zasílán buď bez modulace anebo s amplitudovou modulací o hloubce modulace 80 %. U měření se mění frekvence signálu, která začíná na řádu stovek kHz a končí v řádu stovek MHz. Vyhodnocení testu se provádí sledováním měřeného objektu. Nyní se sledování provádí pomocí připojených optických vláken na světlomet a vyhodnocuje se intenzita světla, a to za pomoci připojených fotodiod. Nicméně tím, jak se postupně mění světlometry, tak se i mění požadavky zákazníků a je potřeba zpřesnit vyhodnocení testu. Proto se postupně zavádí sledování vzorků kamerou, a nyní je potřeba doplnění měření i o zvukový senzor s jeho vyhodnocením.



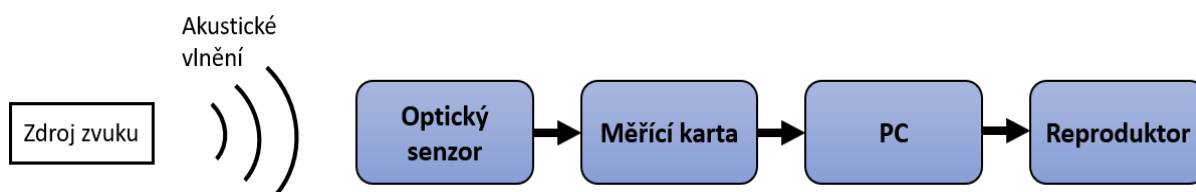
Obr. 5 Měřicí test set-up

Při měření imunity je nastaven tzv. Dwell-time. To je doba, během které se nastaví požadovaná testovací frekvence působící na DUT. Ve většině případů je tato doba nastavena na 2 s. Jedná se o vcelku komplikovanou operaci. Přes speciální software EMC32 se zasílá požadavek do přepínače, ke kterému jsou připojeny potřebné přístroje. Přepínač na signálovém generátoru nastaví požadovanou frekvenci, amplitudu a modulaci signálu, poté vybere vhodný zesilovač. V rámci EMC se mohou testovat

frekvence od řádu desítek kHz až po jednotky GHz. Pro tak velký rozsah je potřeba více zesilovačů, kdy každý zesilovač pokryje určité frekvenční pásmo. Poté už následuje zaslání definovaného zesíleného signálu do antény, která ho distribuuje směrem k DUT, respektive do kleštiny, která signál indukuje do kabeláže. Na konci tohoto procesu se zkontroluje funkčnost vzorku, zdali se nemění jeho výstupní parametry, u světlometů tedy primárně intenzita světelného výstupu. V tomto případě SW EMC32 vyčítá data z určené měřicí karty.

2.3 Popis měřicího řetězce

Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, jako případný zdroj zvuku je světlomet obsahující krokový motorek. Ten slouží k nastavení výšky sklonu světlometu při jízdě automobilu. Doposud jsou uvnitř světlometů pouze dva zdroje hluku, prvním je již zmíněný krokový motorek a druhým je ventilátor sloužící jako aktivní chlazení světlometu.



Obr. 6 Měřicí řetězec

Na Obr. 6 je měřicí řetězec, který se skládá ze senzoru zvuku. Ten převádí akustický tlak na elektrické kmity. Snímaný elektrický signál bude navzorkován a převeden z analogové do diskrétní podoby za pomoci měřicí karty. Ovládání a chování karty bude definované pomocí softwaru nahraného v počítači. Bude se jednat o program vytvořená v LabVIEW. Tím, že se jedná o měření zvuku, je celá sestava zakončena reproduktorem pro případné přehrání naměřených vzorků. Veškeré komponenty a jejich detailní popis je uveden v následujících kapitolách.

2.3.1 Zvuk a jeho chování

Pro pochopení problematiky snímání zvuku je potřeba vědět z čeho se tato fyzikální veličina skládá a jak se chová. Tato problematika bude uvedena v následujícím textu.

Základními parametry zvuku jsou akustický tlak, rychlost šíření zvuku, frekvence kmitavého pohybu a hladina hluku.

Tím, jak se šíří vlny v prostředí vznikají místa, kde se zředí a zhušťuje tohle prostředí. V místech, kde je vyšší hustota, je tedy vyšší tlak a obráceně, tam kde docházelo k zředění je nižší tlak. Akustický tlak tedy vyjadřuje odchylky od klidové hodnoty barometrického tlaku.

Nejtišší zvuk, o frekvenci 1 kHz, který můžeme slyšet je o prahovém akustickém tlaku p_0 asi $2 \cdot 10^{-5}$ Pa, a o prahové intenzitě $I_0 = 10^{-12}$ W.m⁻². Naopak nejsilnější zvuky, které mohou způsobovat bolest, mají

intenzitu řádově 1 W.m^{-2} . Protože se jedná o rozdíl dvanácti řádů, zavádí se logaritmická škála. Ta prahové intenzitě zvuku přiřazuje nulovou hodnotu a hladiny intenzity zvuku rozděljuje do rozsahu od 0–130 dB. Hladina intenzity zvuku je tedy definována jako:

$$L = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} [\text{dB}] \quad (1)$$

L – hladina intenzity

I – aktuální intenzita vlnění

I_0 – prahová intenzita

Těž lze tedy vyjádřit i pomocí akustického tlaku a jeho prahové hodnoty.

$$L = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0} [\text{dB}] \quad (2)$$

Rychlost zvuku je šíření zvukové vlny daným směrem a daným prostředím. Tato veličina je především závislá na teplotě.

$$c_0 = 331,8 + 0,607 \cdot \vartheta \quad (3)$$

Kde c_0 je rychlost

ϑ – teplota okolního vzduchu.

Jednoduchý tón je popsán klasickým sinusovým průběhem:

$$A = A_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad (4)$$

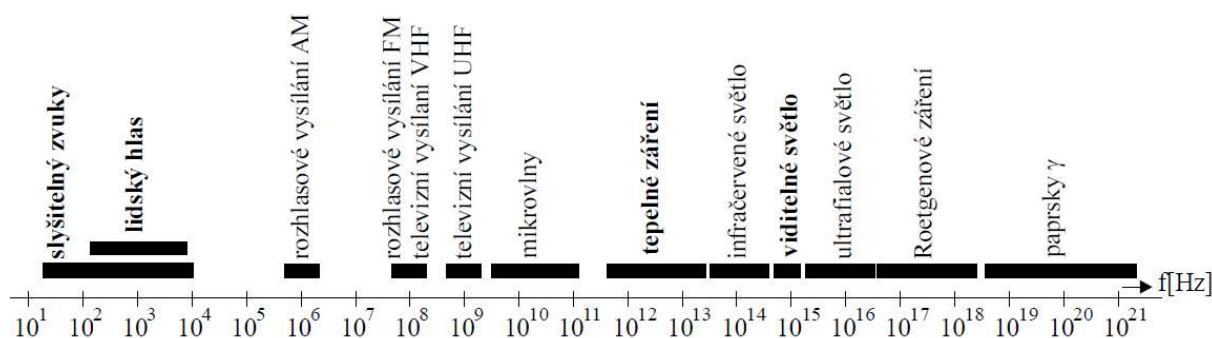
Kde A je okamžitá sledovaná hodnota

A_{\max} – amplituda

$\Omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ – úhlový kmitočet

Φ – fázový úhel

Signál, který slyšíme se dá vyjádřit jako součet harmonických funkcí a označuje se jako periodický signál. Může se rozložit na řadu sinusových průběhů o různých amplitudách a frekvencích. Mechanické vlnění v kmitočtovém rozsahu od 16 Hz do 20 kHz nazýváme zvukem. Do 16 Hz se jedná o infrazvuk a nad 20 kHz se zase jedná o ultrazvuk. Od zdroje, ve kterém vzniká chvění, se zvuk šíří do okolního prostředí jako postupná zvuková vlna. [2]



Obr. 7 Frekvenční rozsah okolních signálů [3]

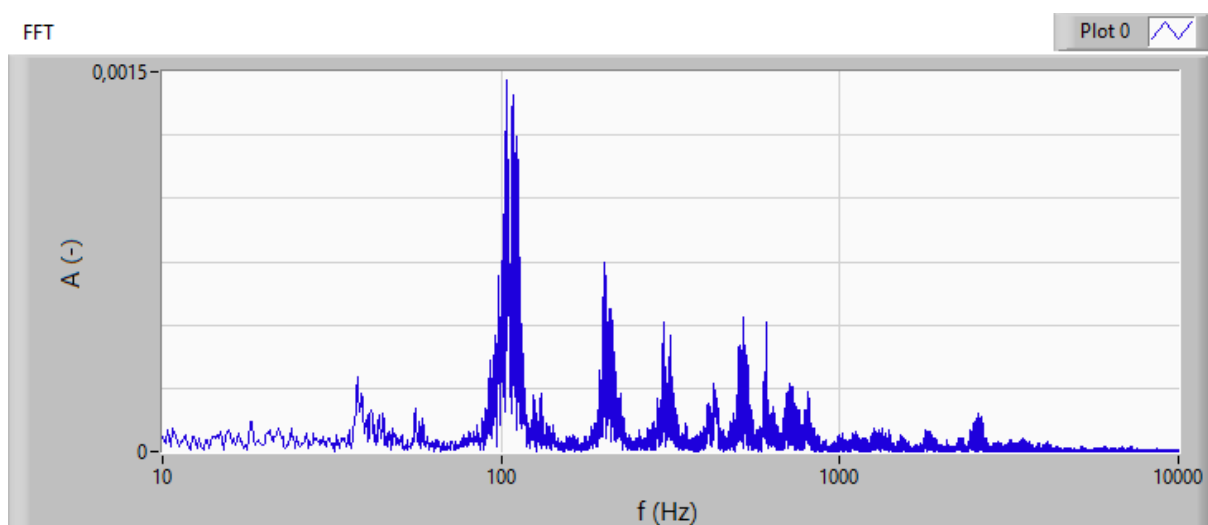
Převod z časového signálu na frekvenční analýzu se provádí pomocí Fourierovy transformace. Ta rozkládá signál na jeho základní frekvence. Výhodou této transformace je jednodušší provádění matematických operací s diferenciálními rovnicemi. Základní Fourierova transformace se využívá pro spojité signály a rovnici pro výpočet je:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt \quad (5)$$

Pokud je k dispozici konečný počet vzorků, využívá se k převodu do frekvenční oblasti diskretní Fourierova transformace (DFT).

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{\frac{-2j\pi nk}{N}} \quad (6)$$

Tato matematická transformace našla uplatnění s nástupem výpočetní techniky, nicméně ji dost omezuje rychlost a časová náročnost, tudíž byl vypracován algoritmus, který tyto nedostatky odstranil. Jedná se o rychlou Fourierovu transformaci (FFT – Fast Fourier Transformation). Klasická DFT pro výpočet N^2 aritmetických operací, kde N je velikost vstupních dat. Za to FFT zmenšuje počet operací na $N \cdot \log(N)$. Zdaleka nejvíce využívaným je Cooley-Tukey algoritmus. Ten rekurzivně dělí DFT na mnoho menších DFT o velikosti N .



Obr. 8 Příklad frekvenčního spektra

Na Obr. 8 je zobrazen příklad frekvenčního spektra. Na x-ové ose je zobrazena frekvence v logaritmickém měřítku. Na y-ové ose je amplituda měřeného signálu. Z grafu lze vyčíst, že dominantní kmitočtové složky jsou přibližně kolem 100 Hz

2.3.2 Snímače zvuku

Nejčastěji uváděným snímačem zvuku je mikrofon. To je zařízení, které převádí akustický signál na signál elektrický. Většina mikrofonů je mechanická a membránová, ale liší se principem jejich fungování, a tedy i použitím. Nejdůležitějšími vlastnostmi mikrofonů jsou citlivost, směrovost, frekvenční spektrum, dynamické vlastnosti a cena. V následujícím textu bude přibliženo použití a základní parametry nejčastěji užívaných mikrofonů. [4][5]

Odporový uhlíkový mikrofon

Tento mikrofon je založen na změně odporu vůči stlačující se membráně. Odpozem je vrstva uhlíkových zrněk, která je z jedné strany uzavřena pružnou membránou a z druhé strany pevnou vodivou destičkou. Při dopadu zvukové vlny se pohyblivá membrána rozkmitá a mění tlak působící na uhlíková zrnka a tím i mění elektrický odpor této vrstvy. Jedná se o jeden z nejstarších typů mikrofonů. Disponuje vysokou citlivostí, ale nízkým frekvenčním rozsahem a velkým šumem.

Elektrodynamický mikrofon

Ke své činnosti využívá elektromagnetickou indukci, kdy v magnetickém poli trvalého magnetu se pohybuje cívka, která je propojená s pružnou membránou. Při kmitání pohyblivé membrány dochází k přenášení kmitů na cívku a tím se indukuje proměnné napětí odpovídající akustickému signálu. Tento typ mikrofonu se vyznačuje širokým frekvenčním rozsahem, nízkým šumem a ve srovnání s ostatními typy mikrofonů je levný, proto je velice rozšířený. Nevýhodou je nižší citlivost a pro tuto aplikaci je nevhodný skrze možné ovlivnění měření vyzařováním rušení do svého okolí.

Kondenzátorový mikrofon

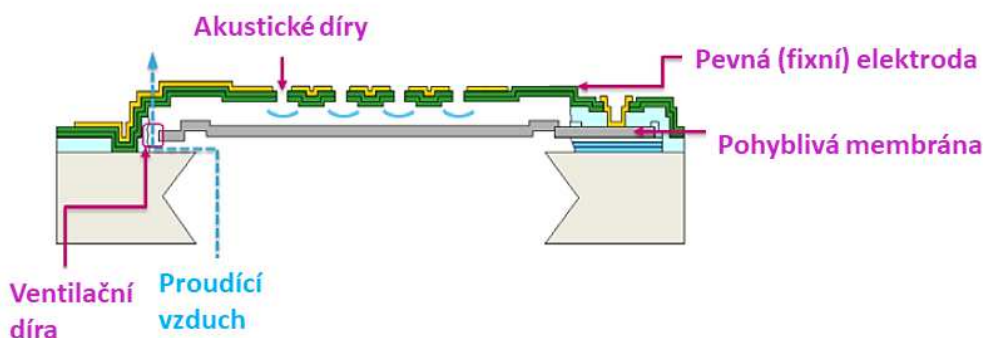
Založen na principu změny kapacity kondenzátoru. Kdy je jedna z elektrod brána jako pohyblivá membrána a při změně polohy membrány, vlivem akustického tlaku, se mění kapacita kondenzátoru a vyhodnocením této změny se získá výsledný signál. Jejich použití je v nahrávacích studiích, a to z důvodu výborných vlastností, kterými jsou: vysoká citlivost, velký frekvenční rozsah a nízký šum. To je vykoupeno vysokou cenou tohoto typu mikrofonů.

Elektretový mikrofon

Jedná se o typ kondenzátorového mikrofonu, kde je pevná elektroda tvořena elektretem. To je nevodivá, permanentně elektricky nabitá hmota. Elektret obsahuje kladný náboj a při měnící se mezeře mezi elektretem a pružnou metalickou membránou se přitahují proměnlivé počty záporných nábojů a tím vzniká proměnný elektrický proud. Ten je úměrný zvuku dopadajícímu na membránu. Elektretové mikrofony disponují vysokou citlivostí, stabilitou a malým zkreslením. Nevýhodou může být větší velikost a hmotnost, z toho důvodu se nevyužívá například v moderních mobilních telefonech.

MEMS mikrofon

Senzor, který využívá MEMS (Micro electro mechanical systems) technologii a jedná se v podstatě o křemíkový kondenzátor. Primárně se skládá ze dvou elektrod, kde jedna elektroda je pevně umístěná na čipu a druhá je na tenké křemíkové pohyblivé membráně. Princip fungování je stejný jako u předchozích kondenzátorových mikrofonů, tedy se změnou polohy membrány, respektive elektrody, se mění kapacita kondenzátoru a tato změna se vyhodnocuje. Na Obr. 9 je zobrazeno principiální schéma MEMS technologie mikrofonu. Kdy pevná elektroda má plno akustických otvorů a umožňuje průchod zvuku na pohyblivou membránu. Vedle membrány je ještě ventilační otvor sloužící ke zpětné kompresi tlaku a vyrovnání membrány do původní polohy.[9]

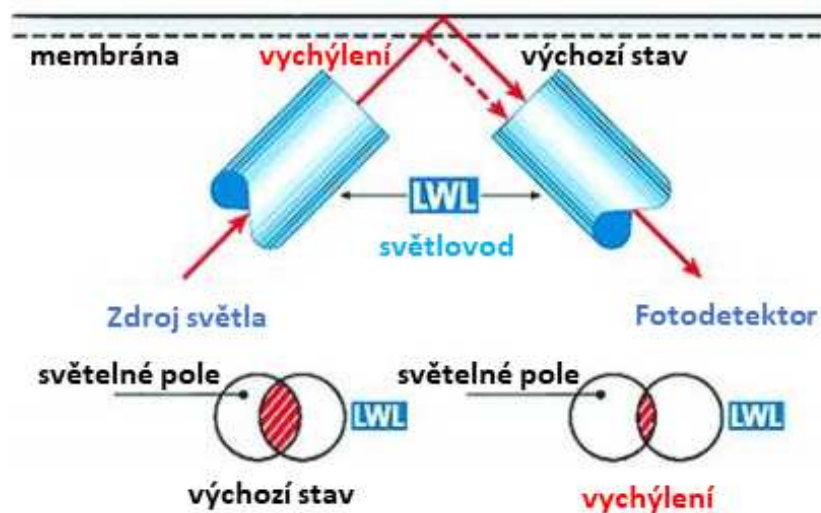


Obr. 9 Princip MEMS mikrofonu[9]

Tento typ mikrofonů je vysoce odolný vůči mechanickým otřesům, změnám teploty a elektromagnetickému rušení. Zároveň disponuje výborným SNR a frekvenčním rozsahem.

Optický mikrofon

Jedná se o senzory citlivé na změnu intenzity světla odráženého od silikonové membrány. Na Obr. 10 je zobrazen princip optického mikrofonu, který se skládá ze dvou optických kabelů, kde na jedné straně je LED zdroj svítící na speciální odrazivou membránu a na konci druhého světlovodu je fotosnímač. Při nárazu zvukové vlny na membránu se způsobují vibrace a díky tomu se změní charakteristiky odráženého světla. Vyhodnocuje se změna vzdálenosti membrány od referenční hodnoty [8]



Obr. 10 Princip optického mikrofonu

Charakteristickou vlastností těchto mikrofónů je hlavně imunita vůči elektromagnetickému rušení a tím, že se jedná o optiku, tak nevysílá žádné rušení do svého okolí. Výhodou je také poslech, až na několik desítek metrů a to, že ho minimálně ovlivňují okolní vlivy, jako je teplota či vlhkost.

2.3.3 Mikrofon Fomic-SM 2140

Jedná se miniaturní optický mikrofon pro vnitřní monitorování akustického signálu od společnosti Optoacoustics. Designové provedení je zobrazeno na Obr. 11.

Tab. 1 Základní vlastnosti Fomic – SM2140

Technické parametry	
Směrová charakteristika	Všesměrová
Frekvenční rozsah	30–8000 Hz
Citlivost	300 mV/Pa
Šum mikrofónu	≤ 31dBA
Maximální akustický tlak	114 dB
Teplotní pracovní rozsah	-20 / +60 °C
Délka optického vlákna	10 m



Obr. 11 Fomic – SM 2140

Optické změny vyhodnocuje dodávaná jednotka EOU 100 zobrazená na *Obr. 12*. Vstupními prvky jsou dva ST konektory sloužící k připojení optických vláken směřujících k měřicí sondě. Jednotka je napájena pomocí 12 V adaptéru. Po připojení je rozsvícená indikační zelená LED. Výstupní signál je vyveden za pomoci 3,5 mm konektoru v maximálním rozsahu ± 5 V v analogové hodnotě.



Obr. 12 Jednotka EOU 100

Celý měřicí kit se tedy skládá z měřicí sondy SM 2140, vyhodnocovací jednotky EOU 100, páru optických vláken vyvedených v jednom ochranném krytu z polyamidu (materiál s vysokou pevností, odolný proti otěru, vibracím, prachu a zároveň odolný vůči některým chemickým látkám), 12 V adaptéru a propojovací kabelu, který má z jednoho konce 3,5 mm konektor a z druhého BNC konektor.

Tento typ mikrofону byl vybrán hlavně z důvodů optického snímání, které doposud není moc obvyklé. Zatím se využívá spíše ke speciálním účelům jako třeba u armády ke špionáži nebo u pacientů v nemocnicích při magnetické rezonanci. Největší výhodou je, že je naprosto imunní vůči elektromagnetickému rušení. Mikrofon nepokrývá celý frekvenční rozsah zvuku, nicméně pro tuto aplikaci je dostačující. Tak jako u většiny senzorů platí, že čím je rozsah či citlivost větší, tím je cena výrazně vyšší.

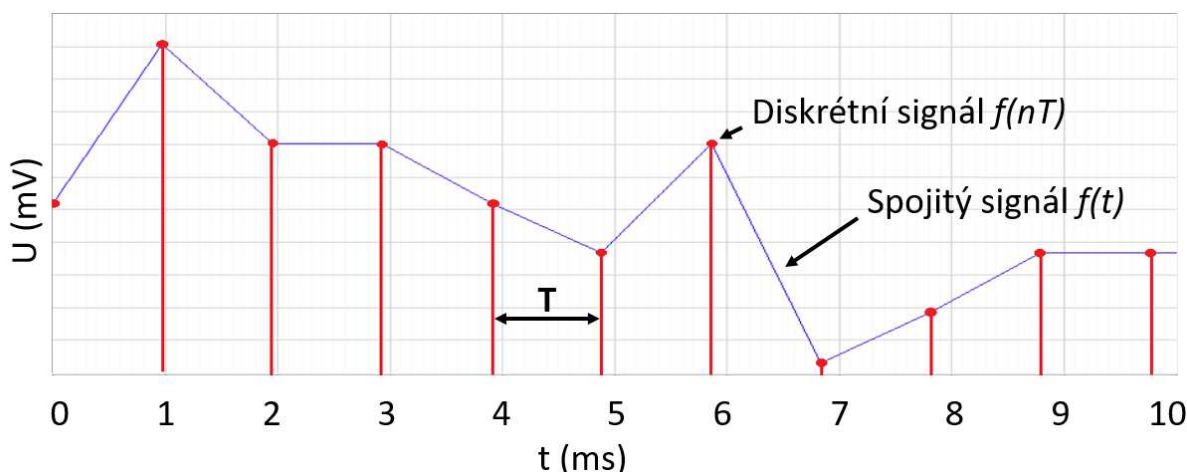
2.3.4 Zpracování signálu

K převodu analogového signálu ze zvukového snímače, na digitální podobu je potřeba signál navzorkovat a provést kvantování. Tento proces se nazývá diskretizace. U spojitého signálu $f(t)$, který se mění v čase se každou periodou T získává amplituda signálu. Tím vzniká posloupnost hodnot v pravidelných časových intervalech a vzniká diskretní signál $f(nT)$. To má za následek ztrátu informace signálu mezi jednotlivými hodnotami. Proto je zapotřebí korektně vzorkovat signál. Nejjednodušší je si

zapamatovat Nyquistův teorém, tedy že vzorkovací frekvence musí být 2x větší než maximální frekvence měřeného signálu.

$$f_{vz} > 2 \cdot f_{max} \quad (7)$$

Touto podmínkou je zajištěno korektní vzorkování periodického signálu, nicméně pro správnou reprezentaci signálu se doporučuje zvolit vzorkovací frekvenci 5–10 vyšší, tím je získán i přibližný tvar měřeného signálu a dá se zrekonstruovat s minimální kvantizační chybou.



Obr. 13 Příklad vzorkování

Pokud je zvolena nedostatečná vzorkovací frekvence, může nastat takzvaný aliasing, to je zkreslení signálu. Výsledný signál se tváří jako správný, ale udává odlišné nenaměřené hodnoty. Z toho důvodu je zapotřebí vědět přibližný frekvenční rozsah měřeného signálu a zvolit měřicí kartu tak, aby měla dostatečnou vzorkovací frekvenci. Je lepší mít převzorkovaný signál a případně vzorkovací frekvenci časem zmenšit, než hned v prvopočátku měřit zkreslená data a ty dále zpracovávat. Proti aliasingu se lze bránit nejčastěji anti-aliasingovým filtrem, ten je realizován jako dolnoproustný filtr. Vzorkováním je tedy ošetřena časová oblast signálu.

Poté je potřeba ošetřit amplitudovou oblast signálu. To se provádí pomocí kvantování signálu. To znamená, že se reálná čísla zaokrouhlí na kvantizační úrovně, které umožňuje měřicí karta. Výsledkem je konečný počet vzorků. Skrze zaokrouhlení se přichází o určitou část dat a horší se kvalita naměřené informace. Kvantizační úrovně se u měřicích karet vyznačují v N-té mocnině čísla 2. Takže například karta, která má šířku slova 10 bitů rozliší celkem 1024 úrovně.

2.3.5 Měřicí karta NI USB-6210 [7]

Hlavními požadavky na měřicí kartu byly minimálně 4 analogové kanály, vysoká vzorkovací frekvence, dostačující ADC rozlišení, možnost volby rozsahu, modularita a univerzálnost použití.

Výběr padl na měřicí kartu USB-6210 (Obr. 14) od firmy National Instruments. Její základní parametry jsou uvedeny v Tab. 2.

Tab. 2 Základní vlastnosti USB-6210

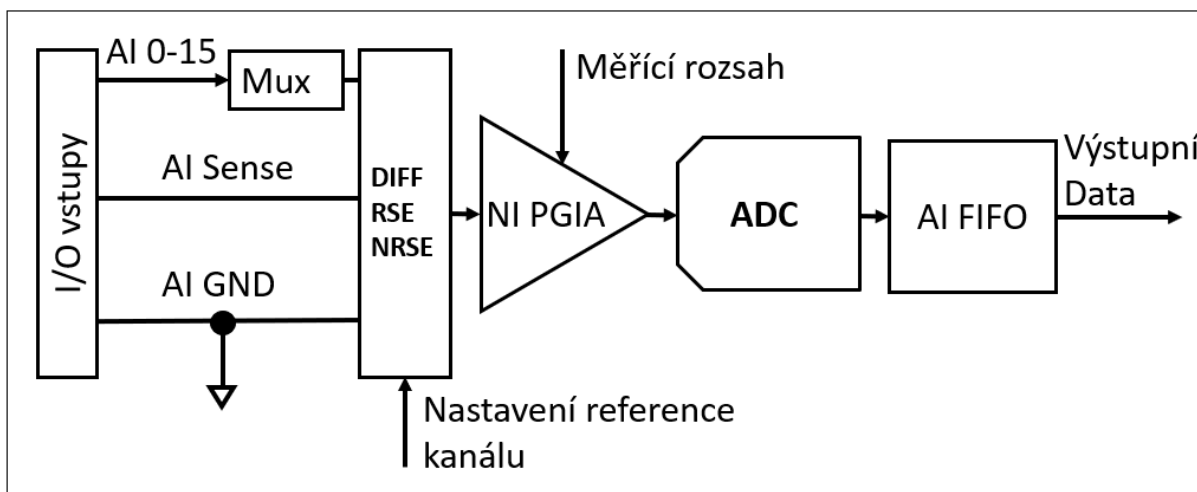
Technické parametry	
Počet analogových kanálů	16 AI - 8 diff
Počet digitálních kanálů	4 DI/DO
ADC rozlišení	16 bitů
Vzorkovací frekvence	250 kS/s
Vstupní rozsahy	$\pm 0,2$ V, ± 1 V, ± 5 V, ± 10 V
CMRR	100 dB
Velikost FIFO bufferu	4095 vzorků
přenos dat	USB

Karta disponuje 16 analogovými kanály, je možnost tedy využít i k jiným účelům než jen snímání zvuku. Je ale nutné si dávat pozor na dělení vzorkovací frekvence, která se dělí v závislosti na počtu využitých kanálů. U karty lze zvolit mezi čtyřmi napěťovými rozsahy, kdy nejvyšší je ± 10 V.[7]

Maximální snímaná hodnota může být 10,4 V, Pokud by byla vyšší, měřicí karta ji ořízne, stejně jako zesilovač při saturaci. Vstupní ochrana pinů je nastavena na ± 30 V. Napájení a datová komunikace je řešena pomocí USB sběrnice.



Obr. 14 USB-6210 [7]



Obr. 15 Blokové schéma analogového vstupu

Na předcházejícím obrázku jsou zobrazeny bloky, z kterých se skládá analogový vstup uvedené měřicí karty. Jako první je konektor, ten je nasouvací se šroubovacím utažením pinů. Tím, že karta disponuje pouze jedním analogově digitálním převodníkem (ADC) a 16 analogovými vstupy, je zapotřebí multiplexer (Mux). Ten přepíná mezi kanály a připojuje právě využívaný kanál k AD převodníku. Nevýhodou této hierarchie je, že počet využívaných kanálů dělí maximální vzorkovací frekvenci měřicí karty. Takže při využívání například 5 kanálů bude maximální vzorkovací frekvence 50 kS/s. Druhou nevýhodou je, že karta nemůže snímat ve stejný čas různé kanály a tím vzniká mírný fázový posun signálu. Jedinou výhodou je nižší cena přístroje.

Zařízení podporuje tři druhy vstupní konfigurace signálu. Jedná se o nastavení reference, vůči které bude zařízení měřit napětíovou úroveň. Prvním je diferenční mód, to znamená, že se měří napětí mezi dvěma analogovými vstupy. Výhodou je, že souhlasné rušení působí na oba vodiče stejně a tím se ve výsledku eliminuje. Nevýhodou je, že je možné využít jen polovinu kanálů. Druhým módem je RSE (Referenced Single Ended) to je měření vztaženo k zemnicí rovině karty a neodstraňuje souhlasné rušení a posledním módem je NRSE (Non-Referenced Single Ended). V tomto případě se měří napětí mezi analogovým vstupem a AI SENSE. Ta se uvádí jako plovoucí země, která není připojena k zemnicí kostře zařízení.

NI-PGIA – je programovatelný zesilovač. Při zvolení vstupního rozsahu, tento zesilovač nastaví parametry měřeného signálu pro ADC. Proto se doporučuje volit měřicí rozsah tak, aby se využilo co nejvíce vzorkovacích úrovní a maximalizovala se efektivita převodníku.

ADC (analog to digital converter) – slouží k převodu z analogové hodnoty signálu na digitální hodnoty. U tohoto typu měřicí karty je využíván princip postupné aproximace tzv. SAR (Successive Approximation Register)

AI FIFO – posledním prvkem analogového vstupu je FIFO paměť (First In – First Out) složící jako vyrovnávací paměť a k přenosu dat mezi ADC a počítačem. Zajišťuje také, aby během měření nedošlo ke ztrátě dat. Pokud k této situaci dojde, nahlásí uživateli chybu a přetečení paměti.

V Tab. 3 jsou zobrazeny skutečné rozsahy měřicí karty s definovanou rozlišovací schopností každého rozsahu. Tato problematika je vysvětlena v kapitole 2.3.4 jako kvantování signálu.

Tab. 3 Vstupní rozsahy karty

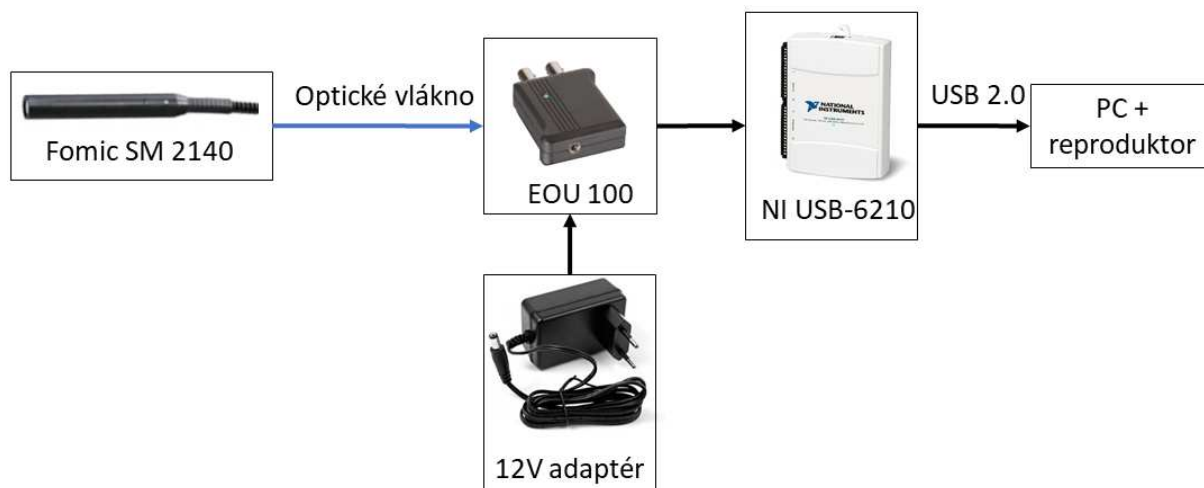
Rozsah přístroje	Rozlišovací schopnost
$\pm 10 \text{ V}$	$320 \text{ } \mu\text{V}$
$\pm 5 \text{ V}$	$160 \text{ } \mu\text{V}$
$\pm 1 \text{ V}$	$32 \text{ } \mu\text{V}$
$\pm 200 \text{ mV}$	$6,4 \text{ } \mu\text{V}$

Tím že, je frekvenční pásmo zvuku od 20 Hz do 16 kHz, tak musí být vzorkovací frekvence podle Nyquistova teorému nejméně 2x větší, tedy minimálně 32 kHz. Nicméně zvuky typu jako řeč, motor nebo i hudba jsou na nižších frekvencích, experimentálně do 3 kHz. Proto je například CD kvalita ve WAV formátu vzorkována 44,1 kHz a je to naprosto dostačující. V důsledku toho, že má měřicí karta pouze jeden A/D převodník a maximální vzorkovací frekvenci 250 kHz, je možné zapojit celkem 5 mikrofonů, tak aby měly dostatečnou vzorkovací frekvenci, tedy už dříve zmíněných 44,1 kHz.

Dalším důvodem, proč byla vybrána měřicí karta USB-6210 je vývojová platforma LabVIEW, ta je od stejného výrobce, tedy National Instruments. Tím by měla být zaručena spolehlivá kompatibilita mezi softwarem a hardwarem.

2.3.6 Výsledný měřicí řetězec

Na Obr. 16 je zobrazen finální měřicí řetězec. Ten se skládá z mikrofonu Fomic SM2140 umístěného uvnitř EMC komory. Od mikrofonu vedou 10 m optická vlákna k vyhodnocovací jednotce EOU 100 umístěné mimo komoru a blízko počítače. Tím, že se jedná o optický signál, nedochází v optických vláknech k poklesu signálu. Jednotka je napájena pomocí 12 V adaptéru připojeného do zásuvky na 230 V. Výstupní signál z EOU 100 je připojen k měřicí kartě USB-6210. Ta má za úkol převést analogový signál na digitální podobu a poslat výsledná data do počítače ke zpracování a analýze.

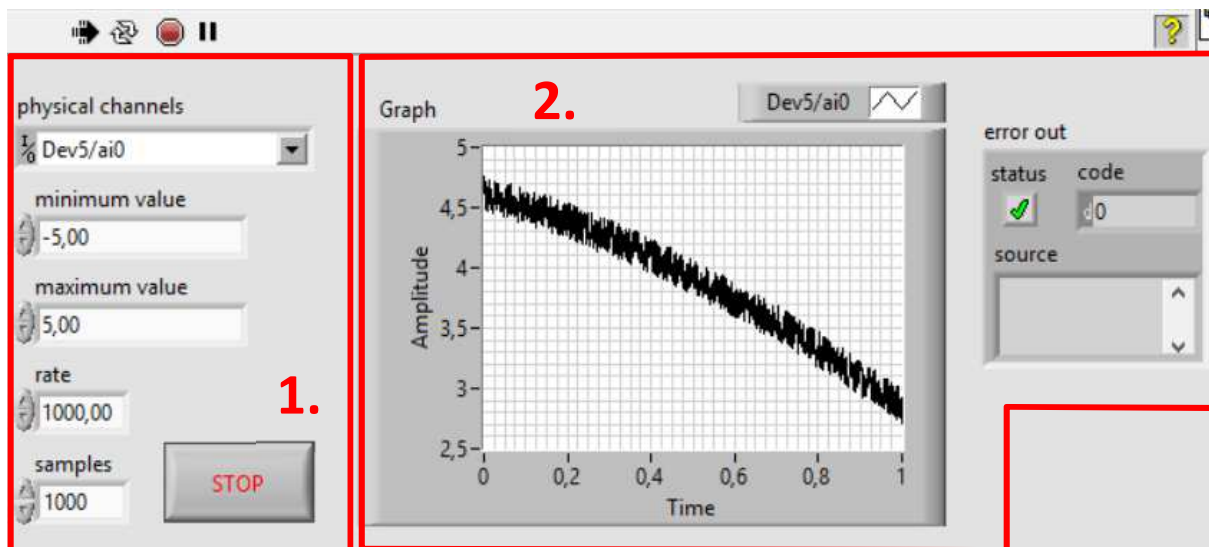


Obr. 16 Měřicí řetězec

2.3.7 Vývojové prostředí LabVIEW

Vývoj nových technologií je doprovázen stále dokonalejšími systémy měřicí techniky. Od klasických jednoúčelových analogových přes mikroprocesorem řízené měřicí přístroje až po víceúčelové měřicí systémy. Jejich hlavní myšlenkou je rozšíření dnes již běžně dostupného osobního počítače o měřicí kartu a softwarovou aplikaci vytvořenou ve vývojovém prostředí LabVIEW (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench). Hlavním rozdílem tohoto prostředí oproti ostatním je, že programování neprobíhá pomocí textových příkazů, jak je tomu například u jazyka C, ale je čistě graficky orientované tzv. Graphical Language. Výsledná aplikace vytvořená v LabVIEW se nazývá virtuální přístroj (VI). Základními částmi každého VI jsou čelní panel (front panel) a blokový diagram (block diagram). [10]

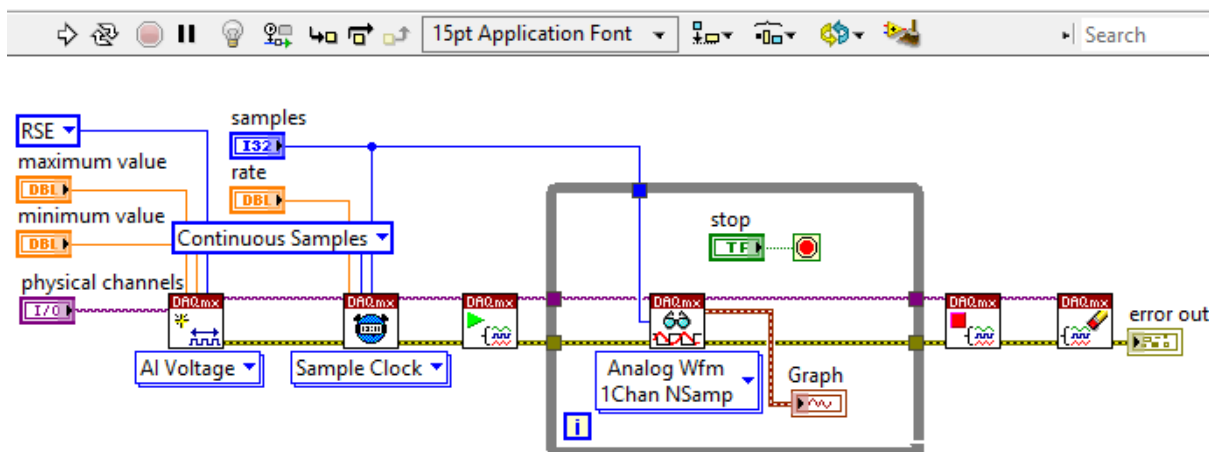
Čelní panel slouží jako uživatelské rozhraní aplikace. Měl by se podobat fyzickému zařízení a mít tedy intuitivní uspořádání ovládání. Panel je složen z ovládacích prvků (tlačítka, inicializační hodnoty) a výstupních indikátorů (indikační LED, grafy). Na Obr. 17 je zobrazen příklad čelního panelu kde v první části jsou označeny ovládací prvky, kde se vybírá měřicí kanál, určuje rozsah a volí vzorkovací frekvence. V druhé části jsou indikační prvky, graf s daty a error cluster, hlásící, zda při sběru dat nedošlo k chybě.



Obr. 17 Příklad čelního panelu

Blokový diagram slouží k naprogramování požadovaných vlastností a funkcí virtuálního přístroje. Funkční část se vytváří pomocí bloků, které se propojují mezi sebou a tvoří výslednou logiku virtuálního přístroje. Na Obr. 18 je příklad kontinuálního snímání napětí za pomoci systému DAQ. Lze si všimnout, že ovládací prvky z čelního panelu jsou vstupními prvky bloků a jejich výstupy jsou indikační prvky.

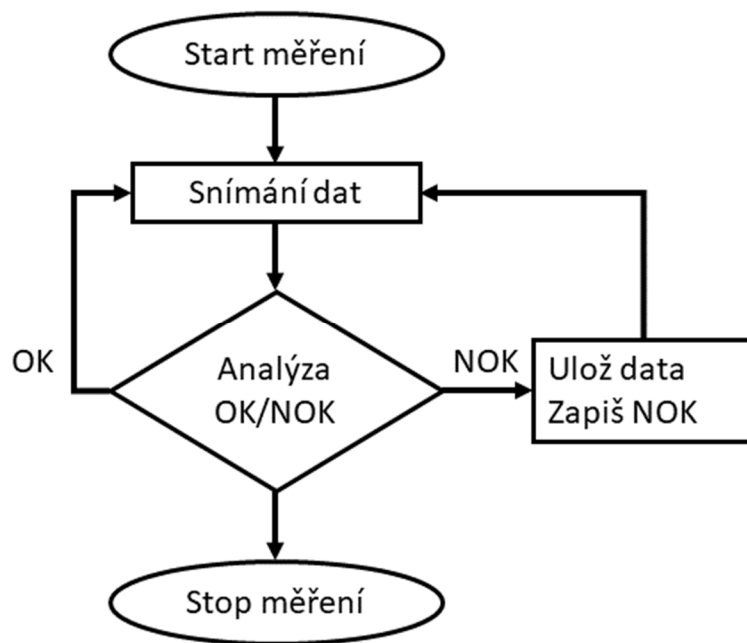
U blokového diagramu je ještě důležité zmínit princip toku dat. Části kódu se vykonávají vždy až mají k dispozici vstupní hodnoty: LabVIEW také disponuje klasickými programovatelnými strukturami typu FOR, či WHILE, zajišťující cyklické provádění části kódu. Nespornou výhodou jsou zavedené polymorfní funkce.



Obr. 18 Příklad blokového diagramu

3 Praktická část

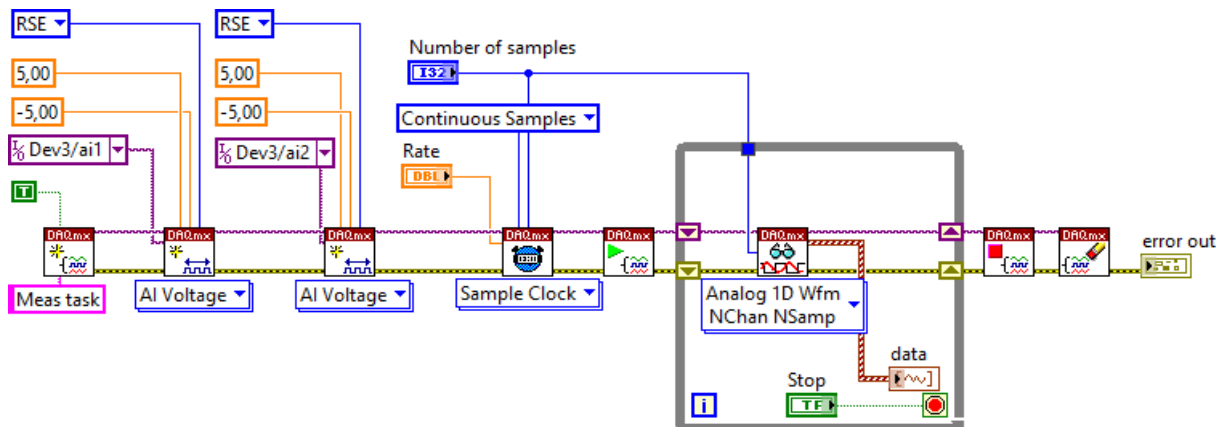
Výsledkem diplomové práce je program vytvořený v LabVIEW. Nejjednodušeji lze jeho funkci popsat diagramem na *Obr. 19*. Funkce aplikace je následující. Po zapnutí testu se snímají data z mikrofonu, která se postupně analyzují a vyhodnocují. Test končí, až doběhne celá jeho délka, nikoli při prvním NOK výsledku. Nejsložitějším problémem je analýza snímaných dat. Pokud nastane NOK výsledek, uloží se ta část dat, během kterých byl detekován nežádoucí jev. Zároveň se informuje uživatel o tom, kdy nastala tato chyba. V případě, kdy testování proběhlo v pořádku a bez chyb se žádná data neukládají.



Obr. 19 Blokový měřicí diagram

3.1 Popis realizovaného softwaru

Pro řízení celé programové struktury byl vybrán vzor „Producent/Konzument“ zobrazen na *Obr. 20*. Základem jsou dvě smyčky WHILE a struktura EVENT, která reaguje na definované změny. Komunikace mezi smyčkami je zajištěna pomocí front.



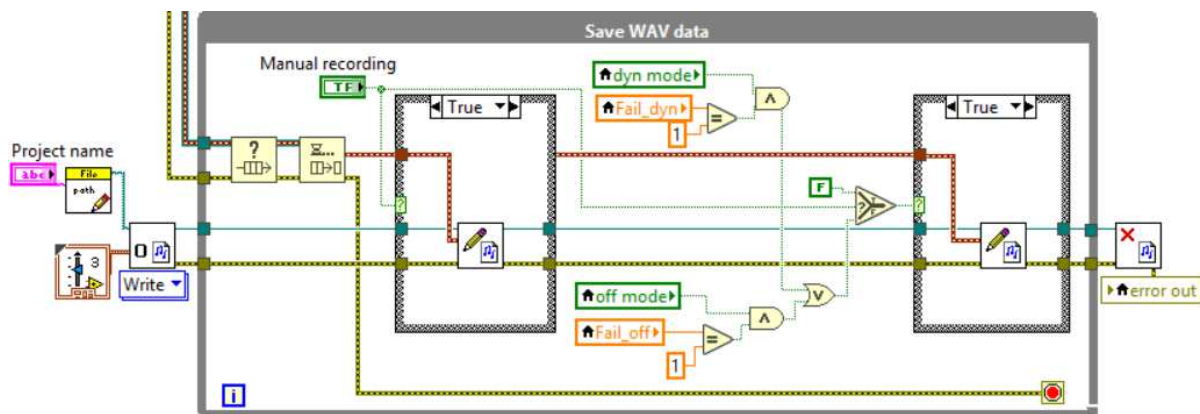
Obr. 21 Sběr dat pomocí DAQmx

Na Obr. 21 je zobrazen základní kód ke sběru dat. Jako první je vytvořen task (*Create Task*), ten slouží k seskupení více kanálů se stejným časováním do jedné úlohy. Poté následuje vytvoření virtuálního kanálu (*Create Channel*) sloužícího ke snímání napěťové hodnoty na zvoleném portu, tím je připojený primární mikrofon. Zde také probíhá nastavení portu, nastavení reference, vůči které se má měřit a rozsah, ve kterém se mají snímat hodnoty. Pokud je využito více portů DAQ zařízení, pak je potřeba vložit sériově za sebe další virtuální kanály. V tomto případě se jedná o sekundární mikrofon. Následuje časování (*Timing*), v tomto bloku se nastavuje, zdali se bude měřit jednorázově, či kontinuálně. Při zvolené kontinuální metodě se nastavuje vzorkovací frekvence a počet vyčítaných vzorků za jednu sekundu. V případě potřeby tento blok vytváří vyrovnávací paměť. Poté co jsou nastaveny kanály a vzorkování signálu, je spuštěno (*Start Task*) vyčítání dat (*Read*). V tomto bloku se nastavuje, jaký typ hodnoty se má vyčítat, zda se jedná o jeden nebo více kanálů, a v jakém formátu je má distribuovat k dalšímu zpracování. Tím, že se jedná o kontinuální měření musí být tento blok uvnitř smyčky while. Po ukončení měření se za pomoci bloku (*Stop Task*) vrátí úloha před zahájení měření. Nakonec se celá úloha smaže blokem (*Clear Task*).

3.1.2 Ukládání dat

Zvuková data se ukládají ve dvou případech. Prvním případem je manuální ukládání, kdy se po sepnutí tlačítka ukládají přivedená data. Druhý případ nastává, pokud je během měření detekován chybný stav, uloží se jedna sekunda záznamu na plochu. Realizace je zobrazena na Obr. 22.

Data se vždy ukládají do složky na plochu počítače, kde jsou seřazeny podle data a času uložení. Ukládány jsou ve zvukovém formátu WAV.



Obr. 22 Ukládání dat

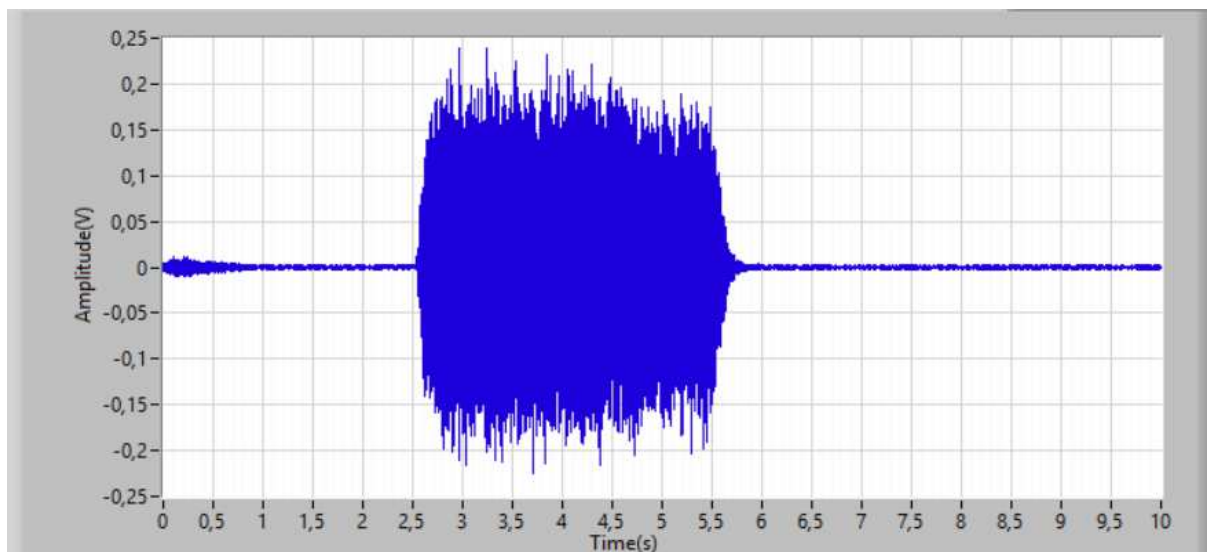
3.2 Měřicí módy

Dříve než se spustí testování imunity, musí proběhnout veškeré nastavení všech systémů testovacím inženýrem. Nejdříve se musí ověřit funkčnost vzorku. Takže jako první se připojí napájení a případná komunikace k ovládání světlometu. Poté se zkontroluje, zda svítí veškeré světelné výstupy a ověří se celková funkčnost dodaného vzorku. Dále se postupuje tím, že se nastaví požadovaný měřicí mód. Měřicí módy jsou navrženy tak, aby se ověřily veškeré možné kombinace, které mohou nastat v běžném provozu a zároveň tak, aby proběhlo kompletní testování a zaručilo se, že je provoz světlometu bezpečný a nemůže ohrozit své okolí. Měřicí módy se dělí na statické a dynamické. Rozdílem je, že statické módy během měření nemění své parametry právě oproti dynamickým módům.

3.2.1 Off-mód

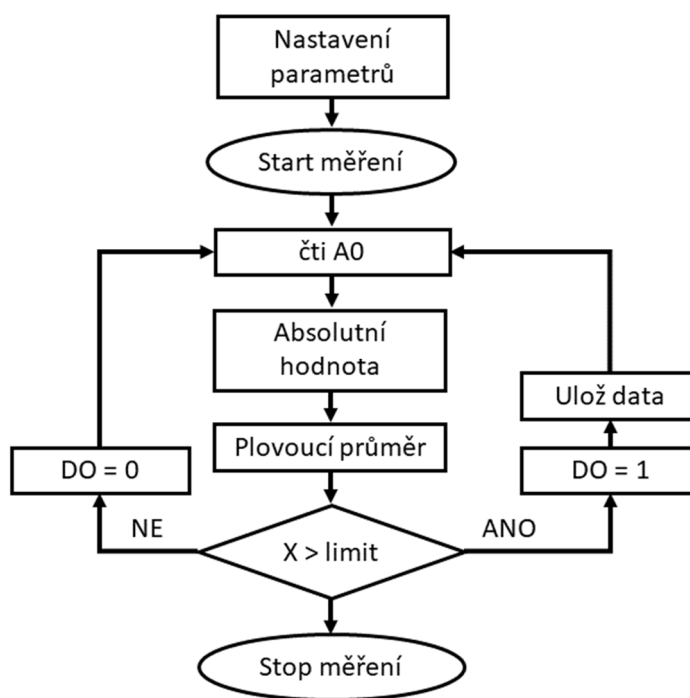
Patří mezi statické módy. Jak už název napovídá, všechny světelné funkce jsou vypnuté. To je zajištěno různě podle hierarchie světlometu. U jednodušších světlometů je to vyřešeno odpojením napájecího kabelu od baterie. U složitějších světlometů, které disponují řídicí sběrnici je zajištění vypnutí všech funkcí pomocí ovládacího softwaru.

První myšlenkou bylo změření referenčního vzorku, se kterým by se ostatní měřené vzorky porovnávali, a poté se vyhodnocovalo OK/NOK. Nicméně od tohoto návrhu se upustilo a byl použit jiný způsob vyhodnocení testování.



Obr. 23 Příklad signálu z mikrofonu v čase sepnutí motorku

Na předchozím obrázku je zobrazen desetisekundový záznam zvuku, ve kterém je zobrazen případ pohybu krokového motorku. Ze záznamu je patrné, že je tento signál snadno detekovatelný, a to v případě nastavení vhodné mezní hodnoty.



Obr. 24 Off-mode diagram

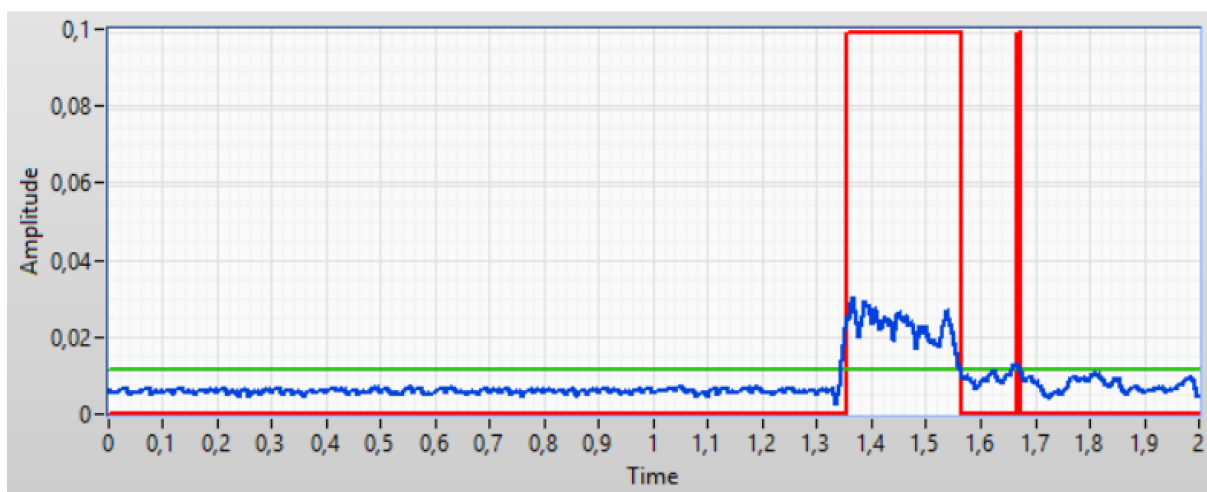
Předpokládá se, že během měření off-módu mohou nastat jen tři možné případy NOK výsledku. Prvním je už zmíněné sepnutí motorku. Druhým případem je zapnutí chladicího větráčku a třetím je možný náhodný jev.

Pro detekci byl zvolen algoritmus naznačen v předchozím diagramu (*Obr. 24*). Princip je následující. Nejdříve se nastaví parametry měření s tím, že nejdůležitější je zvolená limita určující překročení maximálního povoleného akustického tlaku. Po sepnutí tlačítka start se snímají hodnoty z mikrofonu měřicí kartou na analogovém vstupním portu A0. Veškeré hodnoty se převedou do absolutních hodnot a z nich se vytvoří signálová obálka pomocí plovoucího průměru.

K tomuto úkonu je vhodné využít Savitzky-Golay filtr. Jedná se o digitální filtr sloužící k vyhlazování dat využívající principů konvoluce a metody nejmenších čtverců. Jeho výstupem je žádaný plovoucí průměr.

Poté se porovnává, zda je hodnota X menší než zvolená limita. V případě, že obálka signálu je větší než limita, uloží se tato část dat ve zvukovém formátu do počítače a zároveň se zahlásí informace testovacímu inženýrovi, že nastala chyba, a to za pomoci digitálního výstupu, kdy hodnota 1 značí chybu. Tato problematika je dále popsána v kapitole 3.3.2 *Hardwarová konfigurace*.

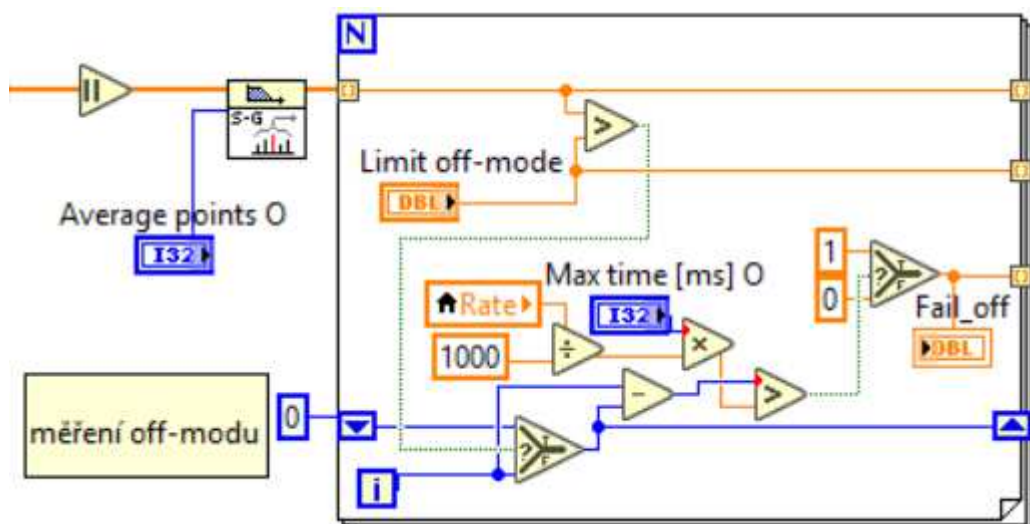
Případ, kdy nastala chyba během měření je zobrazen na *Obr. 25*, kde modrá křivka je upravený snímaný průběh z mikrofonu, zelená limita je zvolená mez a červená křivka je vyznačení chyby v měření.



Obr. 25 Příklad NOK výsledku off módu

Pokud chyba nenastane, uživatel dostává z měřicí karty a jejího digitálního výstupu hodnotu 0 znamenající, že je vše v pořádku.

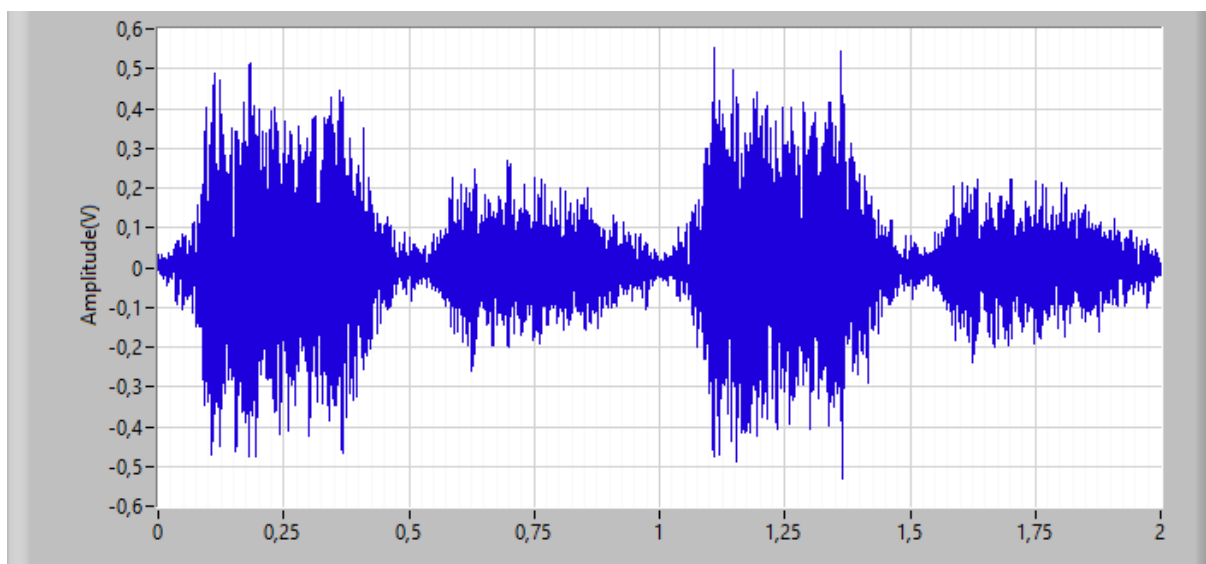
Realizace funkce je zobrazena na *Obr. 26*.



Obr. 26 Funkce off modu

3.2.2 Dynamický mód

V tomto módu se jedná o situaci, kdy se během testování mění parametry sledovaných funkcí. U světelných funkcí je nastaveno pravidelné střídání stavů s frekvencí 1 Hz. Z toho vyplývá, že je světelná funkce zapnuta na 500 ms a na stejnou dobu vypnuta. U krokového motorku je to obdobné. Motorek má 500 ms na to, aby se dostal do krajní polohy a stejnou dobu k dosažení opačné polohy.



Obr. 27 Příklad zvuku z motorku

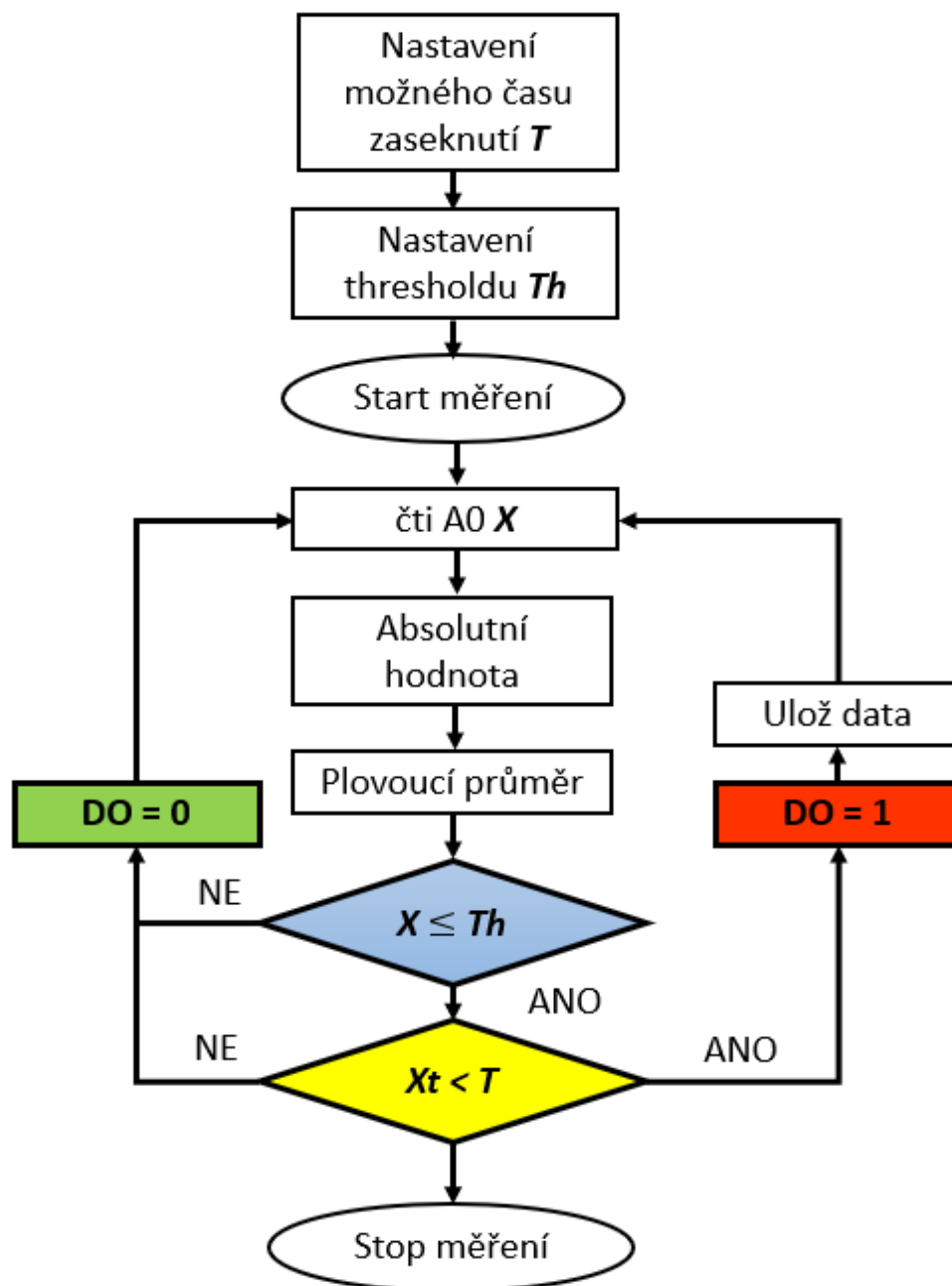
Na Obr. 27 je zobrazen signál z mikrofону zaznamenávající dvousekundový průběh pulzujícího krokového motorku. Lze si všimnout, že při pohybu motorku vzhůru se jedná o výraznější zvuk než při pohybu dolů. A ačkoli se jedná o stejný pohyb motorku, tak snímaný signál je podobný, ale nikdy není stejný.

Jednou z možností, jak sledovat tento měřený signál bylo využít metodu borcení časové osy DTW (Dynamic time warping). Ta porovnává referenční signál s měřeným a rozpoznává v měřeném signálu, zdali se v něm neobjevuje referenční vzorek. Většinou je tato metoda využívána k detekci slov a rozpoznávání řeči. Nicméně myšlenkou bylo poupravit algoritmus tak, aby se nahrál například sekundový referenční vzorek, ve kterém by byla zachycena jedna perioda pohybu motorku, a ten by sloužil k porovnávání při měření. Poté by se každou měřenou sekundu porovnávalo pomocí algoritmu DTW podobnost vzorku a pokud by neodpovídal, vyhodnotilo by se měření jako chybné.

Nicméně od této metody se upustilo kvůli maticovým výpočtům, které by mohly být zatěžující pro běh počítače. Během testování imunity je na jednom počítači spuštěno hned několik náročných programů, které prozatím mají vyšší prioritu než navržená aplikace.

Jak už bylo zmíněno, doposud motorek kontroloval pouze přísedící technik, který měl možnost poslouchat zvuky z komory pouze mikrofonom implementovaným v kamerovém systému. Jednalo se o nepříjemný stereotypní zvuk, kde bylo zapotřebí pouze kontrolovat delší zaseknutí motorku a z tohoto vzešla myšlenka, jak dále pokračovat.

V době, kdy se zastaví krokový motorek se zapne časovač, který počítá do doby, než se motorek znovu nespustí. V případě, že se jedná o delší časový úsek než nastavenou dobu. Vyhodnotí se testování jako chybné.

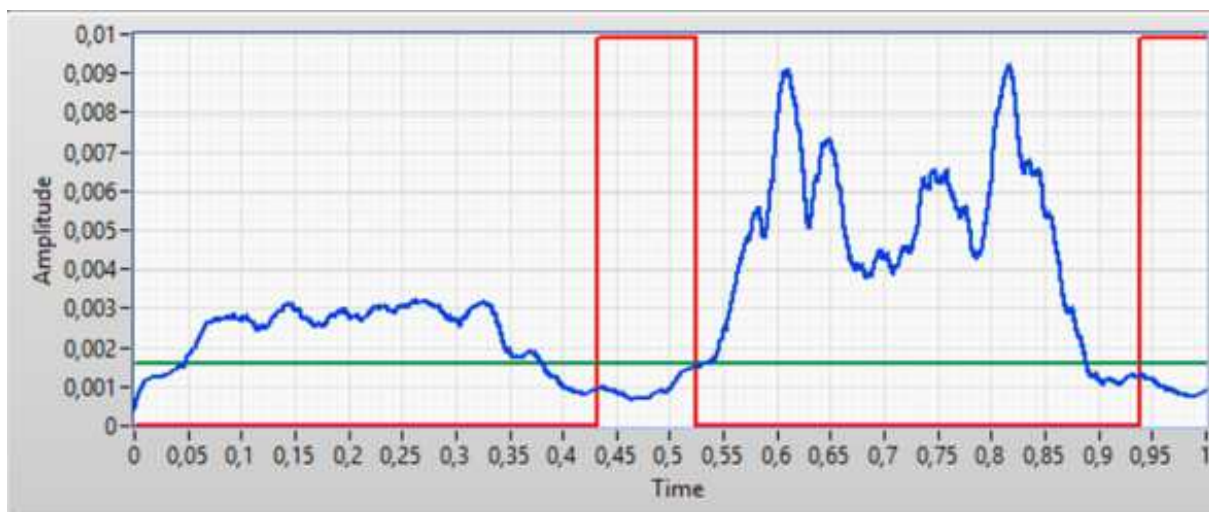


Obr. 28 Zjednodušený diagram vyhodnocení dynamického módu

Úprava signálu je stejná jako u předchozího módu, kdy se v prvním kroku převedou snímané hodnoty do absolutní podoby, a poté se vytvoří obálka signálu pomocí plovoucího průměru. S tímto upraveným signálem se dále pracuje k vyhodnocení možné chyby.

Princip vyhodnocování je následující. Ve chvíli, kdy měřený signál X klesne pod zvolenou mez (Th), naznačené v modrém rozhodovacím bloku, se předpokládá, že se hlídaný krokový motorek dostavil do své krajní polohy, a skrze to nevydává žádný zvuk. V ten okamžik se zapne časovač a začne odpočítávat maximální dobu možného zastavení motorku, která byla nastavená před spuštěním testu. Pokud je doba, kdy je signál pod nastavenou mezní úrovní delší, než je možná doba zaseknutí, tak aplikace vyhodnotí,

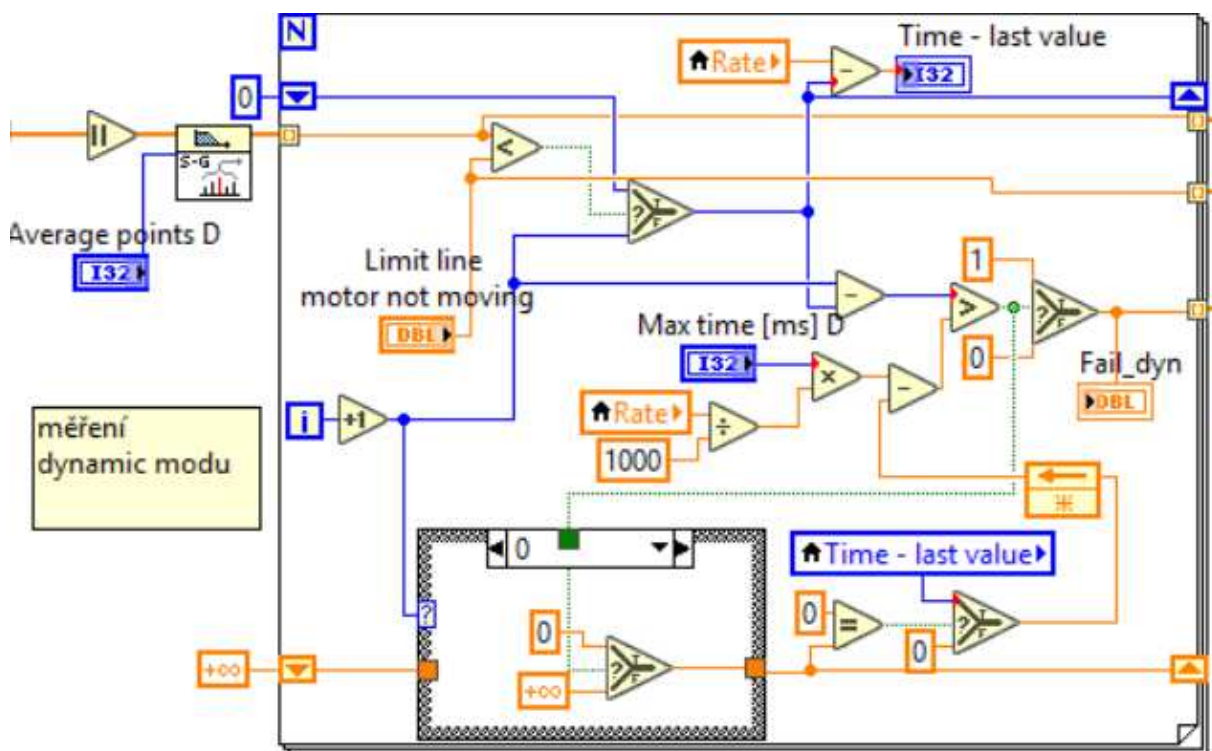
že se jedná o chybový stav. To je naznačené ve žlutém rozhodovacím bloku. Stejně jako u off-módu se uloží aktuální data a zároveň se informuje uživatel o NOK výsledku měření.



Obr. 29 Vyhodnocení dynamického módu

Příklad vyhodnocování dynamického módu je na Obr. 29. Modrá křivka je modifikovaný snímání signál z mikrofону, zelená limita je zvolená mez a červeně jsou značené chybové parametry. Ty zde jsou zobrazeny z důvodu, že časový limit byl nastaven pouze na 50 ms. V reálném případě to bude 500 ms.

Realizace funkce je zobrazena na Obr. 30.



Obr. 30 Navržený algoritmus k vyhodnocení dynamického módu

3.3 Rozbor čelního panelu

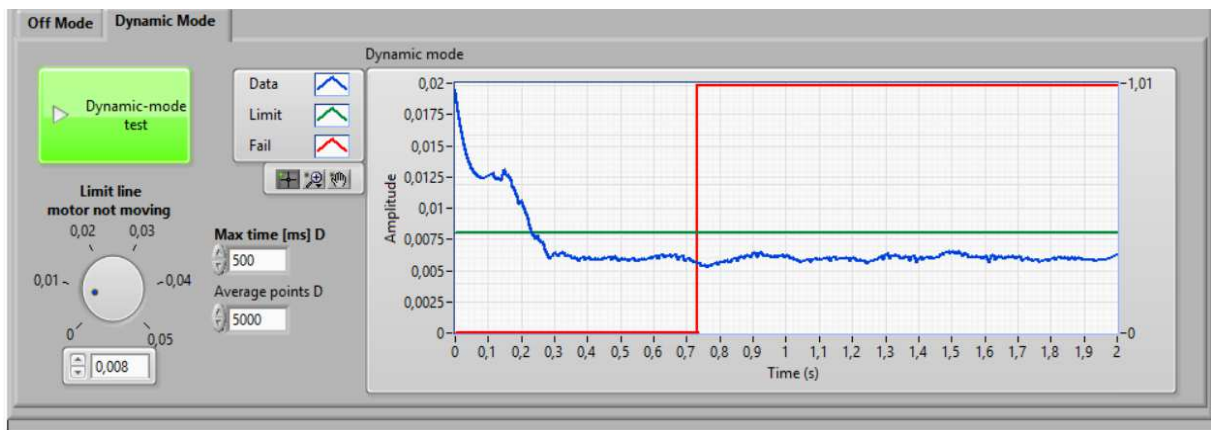
Jak už bylo zmíněno v dřívější kapitole. Program je navrhován ve vzoru producent/konzument a určitým způsobem se chová jako asynchronní stavový automat, který při stisku tlačítka vykoná určitou část kódu. Čelní panel je rozdělen do tří částí, naznačených na *Obr. 31*. V první části panelu se nastavují fyzické kanály měřicí karty, vzorkovací frekvence signálu, Dwell time a věci potřebné k ukládání souborů. Jedná se tedy o základní parametry nutné pro veškerá měření. V první části je rovněž umístěné tlačítko *Start Measure* spouštějící kontinuální snímání dat.

V druhé části panelu jsou umístěné záložky: referenční měření, měření a načítání dat. Záložka měření se dělí na přímá data z mikrofону zobrazená v časové a frekvenční doméně a vyhodnocovací algoritmy se svými nastavitelnými parametry označené ve třetí části snímku. Z grafu je patrné, že je zachycený během testování světlometu.



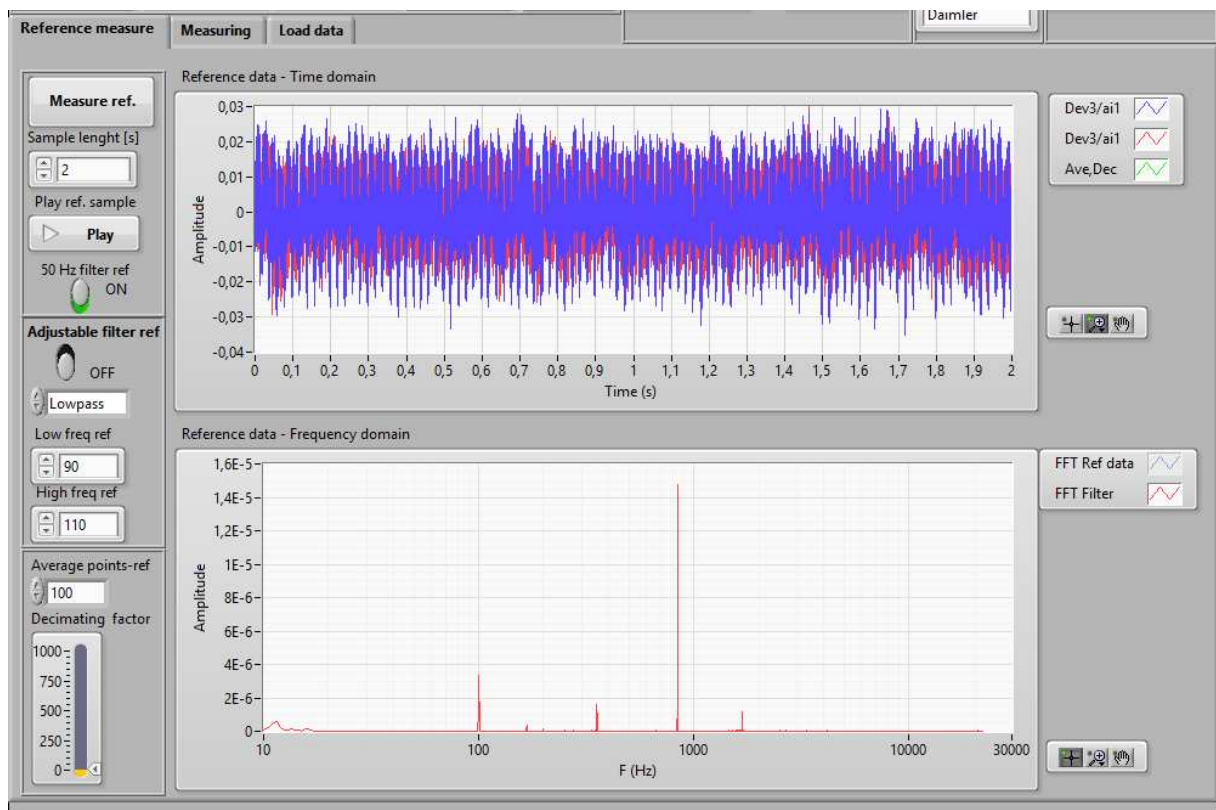
Obr. 31 Rozdělení čelního panelu

Na *Obr. 32* je zobrazen příklad chyby během měření dynamického módu značený červenou křivkou



Obr. 32 Příklad chyby během měření

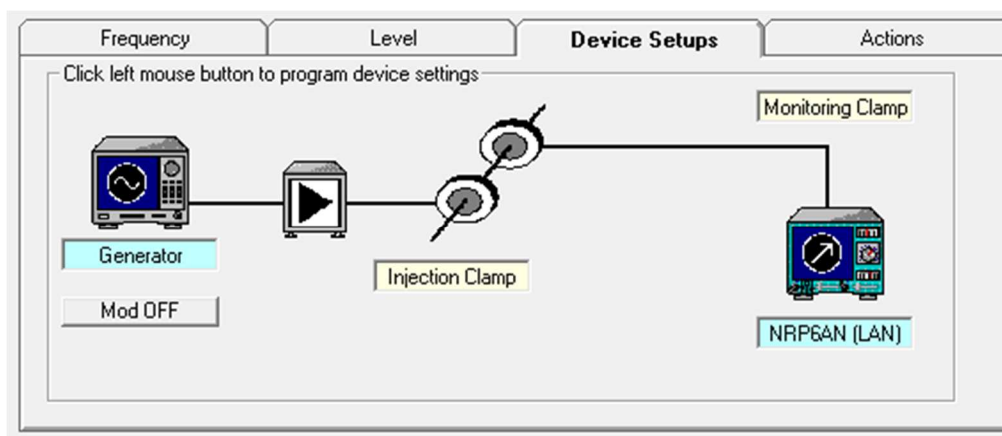
Záložka s referenčním měřením je zobrazena na Obr. 33. V levé části jsou umístěny nastavitelné parametry, jako je délka snímaného vzorku nebo možnost analýzy signálu po návrhu jednoduchého digitálního filtru. Ve zbylé části záložky jsou zobrazená data v časové a frekvenční doméně. V tomto případě byl zapnutý chladicí větrák světlometu. Lze si všimnout dominantní frekvenční složky na hodnotě 900 Hz



Obr. 33 Referenční měření

3.3.1 Zajištění kompatibility se SW EMC32

EMC32 je software od firmy Rohde & Schwarz, přímo určený pro měření EMC, a to jak interferenční testování (EMI), tak pro měření susceptibility (EMS). Tento software zajišťuje ovládání veškerých komponent potřebných k testování. Aktivní přístroje, jakými jsou například signálové generátory, výkonové snímače nebo přepínače jsou ovládány pomocí EMC32, kde většina zařízení má svoji IP adresu, a dále jsou ovládány uvnitř lokální sítě TCP/IP. Zbylé jsou připojené přes USB a GPIB rozhraní. Pasivní součásti typu atenuátory, vysokofrekvenční vodiče nebo antény se zadávají manuálně do softwaru skrze nastavení korekčních faktorů. Na *Obr. 34* je zobrazen zjednodušený device setup testování BCI skládající se z generátoru zesilovače a kleštiny. V případě měření metodou uzavřené smyčky je setup doplněn o monitorovací kleštinu a výkonovou sondu.



Obr. 34 Hardware setup

Postup nastavení EMC32 při testování imunity je následující. Nejdříve se vytvoří testovací šablona (*Obr. 35*), do které se zadávají testovací parametry. Těmi nejdůležitějšími jsou: frekvenční rozsah, frekvenční krok, testovací úroveň proudu v případě BCI, modulace a Dwell time. Všechny tyto parametry jsou definovány v *Test-plánu* daného projektu.

No	Subrange	Step	Level	Modulation	Dwell Time	Level Sweep
1	100kHz - 1MHz	30kHz LIN	XXX	Modulation Off	1s	OFF: 6 dB
2	1MHz - 200MHz	1MHz LIN		Modulation Off	1s	OFF: 6 dB
3	200MHz - 400MHz	2MHz LIN		Modulation Off	1s	OFF: 6 dB

Obr. 35 Testovací šablona

Tím je nastavena testovací šablona. Poté se ještě musí nadefinovat monitorování testovaného objektu (EUT monitoring).

Na Obr. 36 je zobrazeno základní nastavení monitorování. V tomto případě se monitoruje 6 kanálů, které se skládají ze 4 světelných výstupů (HB, LB, DRL a DI), odebíraným proudem měřeného zařízení a sledování motorku pomocí mikrofону.

Postup nastavení monitorování je následující. Nejprve se pojmenuje měřený kanál, nejčastěji to je jedna z funkcí světlometu. Poté se zvolí zařízení, které bude monitorovat zvolený kanál a nastaví se sledovací port (Obr. 37). Posledním krokem je nastavení limit.

Každá automobilka si určuje, v jakém rozsahu se může pohybovat světelný výstup u daného světlometu, tak aby se nejednalo o NOK výsledek. V tomto případě (Obr. 38), kdy jsou limity nastaveny od 2,4 do 3,6 V se jedná o $\pm 20\%$, kdy počáteční hodnotou napětí jsou 3 V. V případě, že se hodnota napětí ocitne mimo definované limity, je výsledek testování negativní a na světlometu se musí provést změny.

EuT Monitoring - [_damast1\EuT Monitoring DP_dynmod]

Options

EUT Information

<none> ...

No	Active	Name	Meas. Device	Conversion	NoGo	Actions
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Light Low_beam	USB6000G	MEAS	<2.4 - 3.6 >	No Action
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Light High_beam	USB6000G	MEAS	<2.4 - 3.6 >	No Action
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Light DRL	USB6000G	MEAS	<2.4 - 3.6 >	No Action
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Light DI	USB6000G	MEAS	<1.6 - 2.4 >	No Action
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Input Current	USB6000H	MEAS	---	No Action
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Microphone LWR	USB6000C	MEAS	> 2.5	No Action

Channel Hardware Display NoGo Actions Options

Channel Name: Light Low_beam

Trigger Mode: After Dwell

☒ Visible Column in the Report

Add Channel Delete Channel Cancel OK

Obr. 36 EUT monitoring

Channel Hardware Display NoGo Actions Options

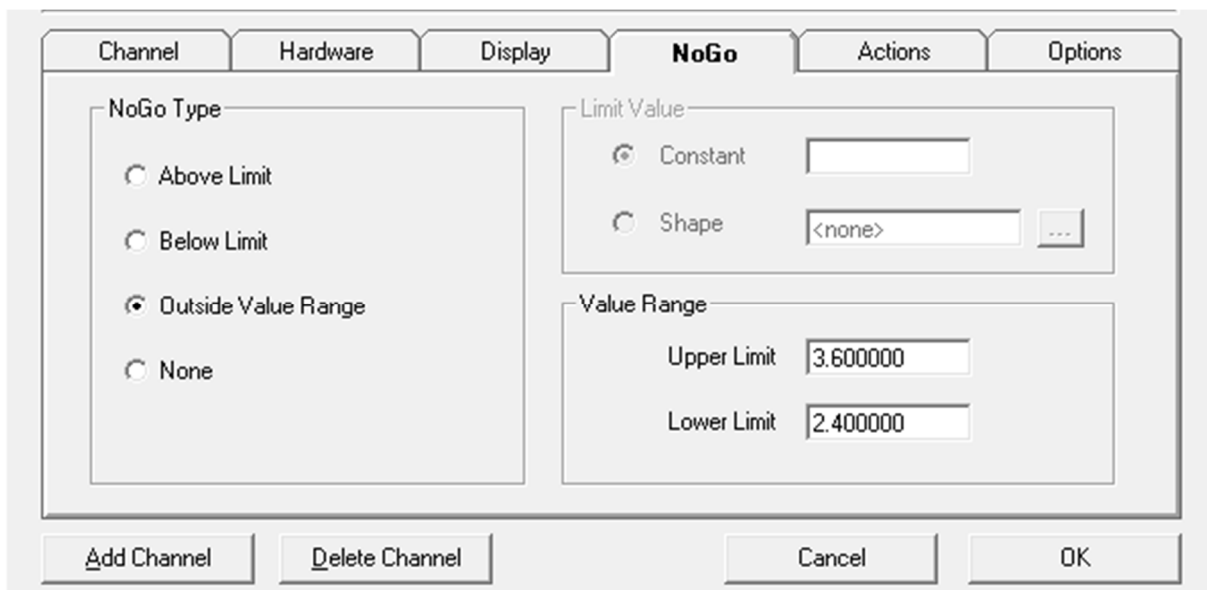
dB

<no device>

USB6000C
Read Analog Port: 1

Add Channel Delete Channel Cancel OK

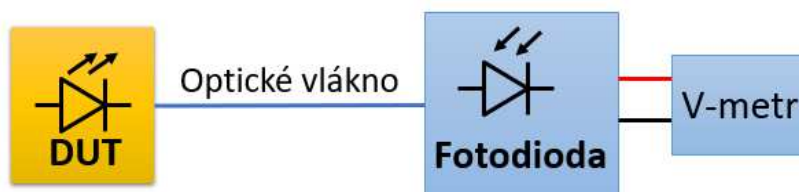
Obr. 37 EUT monitoring – HW



Obr. 38 EUT monitoring – NoGo

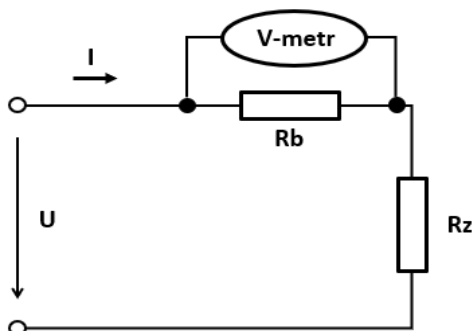
Ve všech případech se monitorovaná veličina převádí na napětí. Ať už to je intenzita světla, proud a teoreticky i měřený zvuk.

Zjednodušený princip světelného monitorování je zobrazen na Obr. 39. Na světlometu, či svítilně jsou připevněná optická vlákna, která jsou přivedena na fotodiody zapojené v závěrném směru. Výsledkem je lineární charakteristika závislosti intenzity osvětlení na napětí. Z toho vyplývá, že při změně intenzity výstupního světla se mění napětí.



Obr. 39 Princip monitoringu

Proud se měří přes bočník. To je nízkohomový rezistor zapojený do série se zátěží. Pokud prochází zátěží proud, vzniká na bočníku úbytek napětí, který je přímo úměrný procházejícímu proudu.

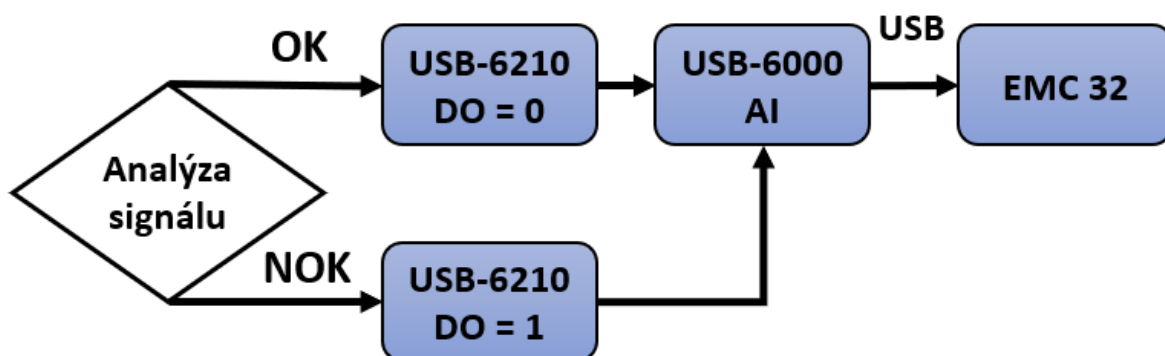


Obr. 40 Zapojení bočníku

3.3.2 Hardwarová konfigurace

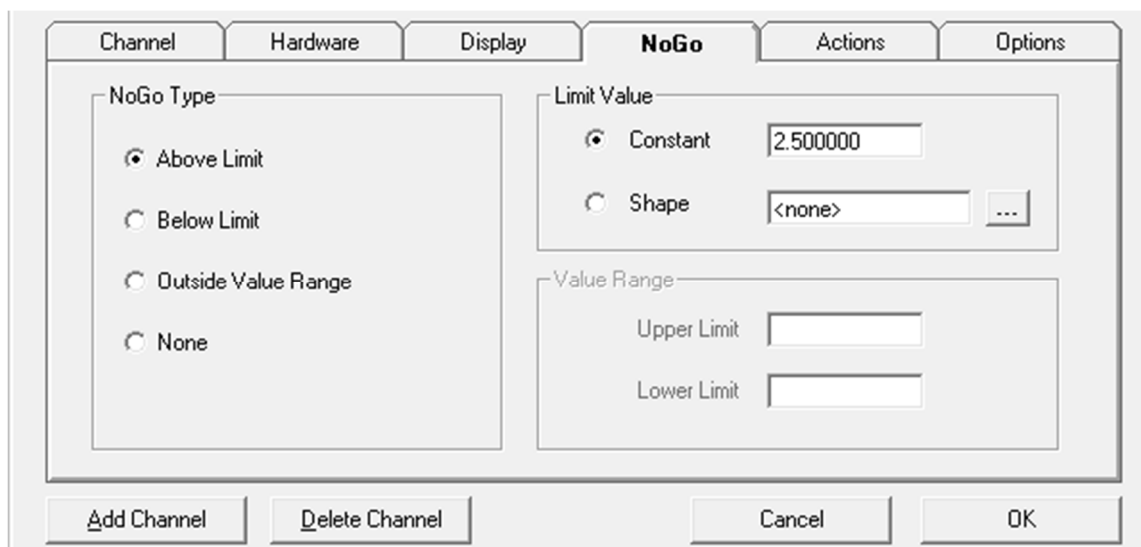
Nejvhodnějším řešením k zajištění kompatibility vytvořeného softwaru s EMC32 by bylo číst data přímo z měřicí karty USB-6210, nicméně software EMC32 spravuje pouze analogové vstupy měřicích karet. Druhým problémem je, že není možné využívat měřicí kartu, dokud ji softwarový inženýři z Rohde & Schwarz manuálně nepřidají do možného výběru.

Dalším řešením byla možnost využít zařízení, které už bylo vloženo do EMC32. Zvoleným zařízením je měřicí karta USB-6000. Jedná se o jednoduché zařízení, disponující 8 analogovými vstupy se šířkou slova 12 bitů.



Obr. 41 HW řešení monitorování akustického signálu

Na analogovém vstupu USB-6000 je tedy připojen digitální výstup z měřicí karty USB-6210. Výstupní signál je v rozsahu 0 V nebo 5 V. V tu chvíli stačí nastavit v parametru NoGo překročení horního limitu více jak 0 (příklad na Obr. 42) a chyba je zobrazena uživateli.

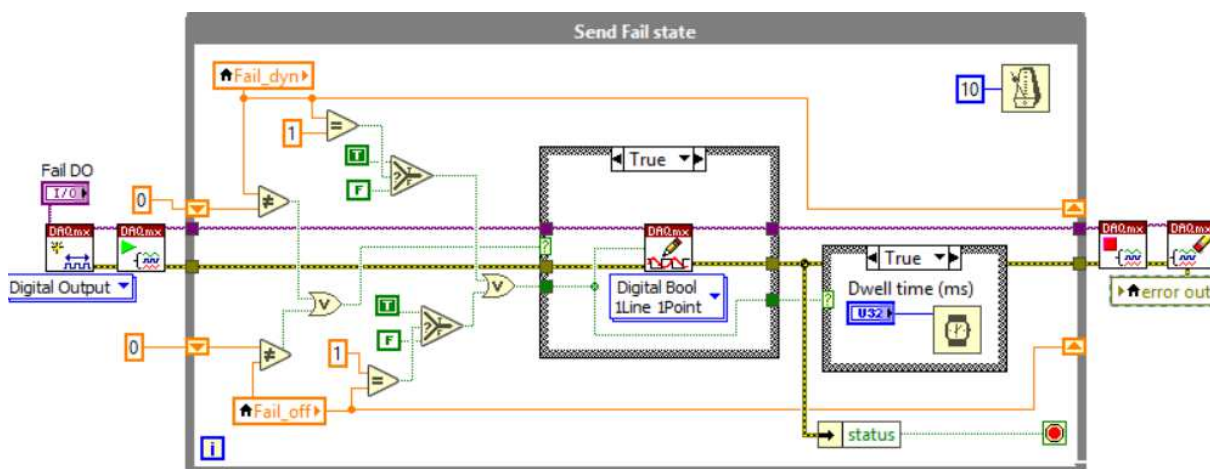


Obr. 42 Nastavení NoGo pro mikrofón

To zaručí, že obsluha vidí přesně, na které testované frekvenci nastal problém a v případě potřeby může reprodukovat dosažené výsledky.

Znovu se využívá knihovny DAQmx. Tentokrát k ovládání už zmíněného digitálního výstupu měřicí karty USB-6210. Obslužný kód je zobrazen na Obr. 43.

Nejdříve se vytvoří kanál, kde bude nastavován ovládaný výstup a poté je úloha zapnuta pomocí bloku *StartTask*. Ve smyčce WHILE se kontroluje změna stavu u některé z proměnných, do kterých se zapisuje chyba měření. Pokud přijde nějaká změna, zapíše se na digitální výstup a tato hodnota se podrží minimálně tak dlouho, jak je nastaven Dwell time, tedy obvykle sekundu, a to z důvodu nastaveného snímání měřicí karty USB-6000. Pokud žádná změna stavu nenastane, smyčka ponechává poslední zapsanou hodnotu na výstupu. Po měření je vypnut kanál a následně smazán.



Obr. 43 Obsluha DO výstupu karty

V tuto chvíli je zajištěné propojení EMC32 s monitorovací aplikací.

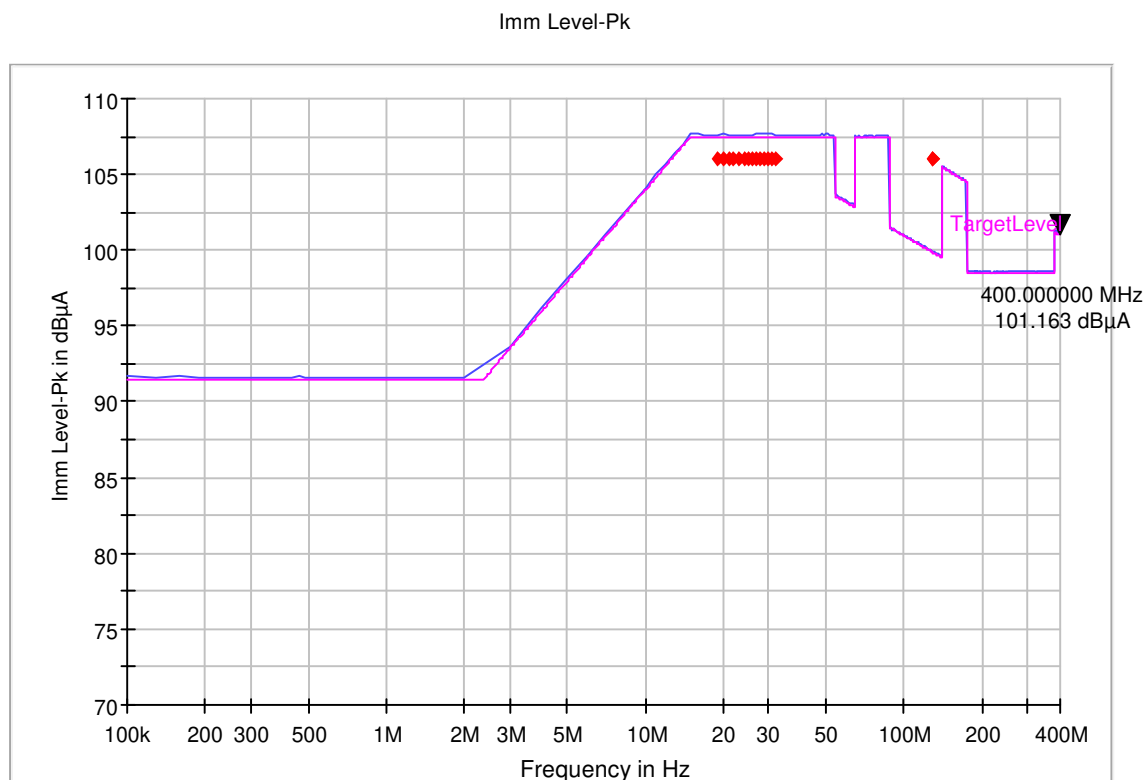
3.4 Validace měřicího systému

Ověření funkčnosti navrženého měřicího systému probíhalo na vybraném projektu při měření BCI metody. Za pomoci sondy se injektoval definovaný proud do kabeláže a kontrolovalo se chování světlometu.

Průběh testování byl jako u běžného měření. Nejdříve se spustil vzorek obsahující řídicí jednotku, poté se připojila CAN komunikace a spustil vybraný mód. Poté se v SW EMC32 nastavila požadovaná měřicí norma, která definuje testovací úroveň proudu a modulaci vysílaného signálu. Mezitím se zahřály LED světlometu a mohl se nastavit EUT monitoring. V tomto případě se sledovaly světelné výstupy světlometu, celkový odebíraný proud a už zmíněna kontrola krokového motorku.

V prvním měření se testoval modifikovaný dynamický mód. V tomto případě se měnila poloha krokového motorku s frekvencí 1 Hz, ale světelné funkce byly zapnuté po celou dobu měření.

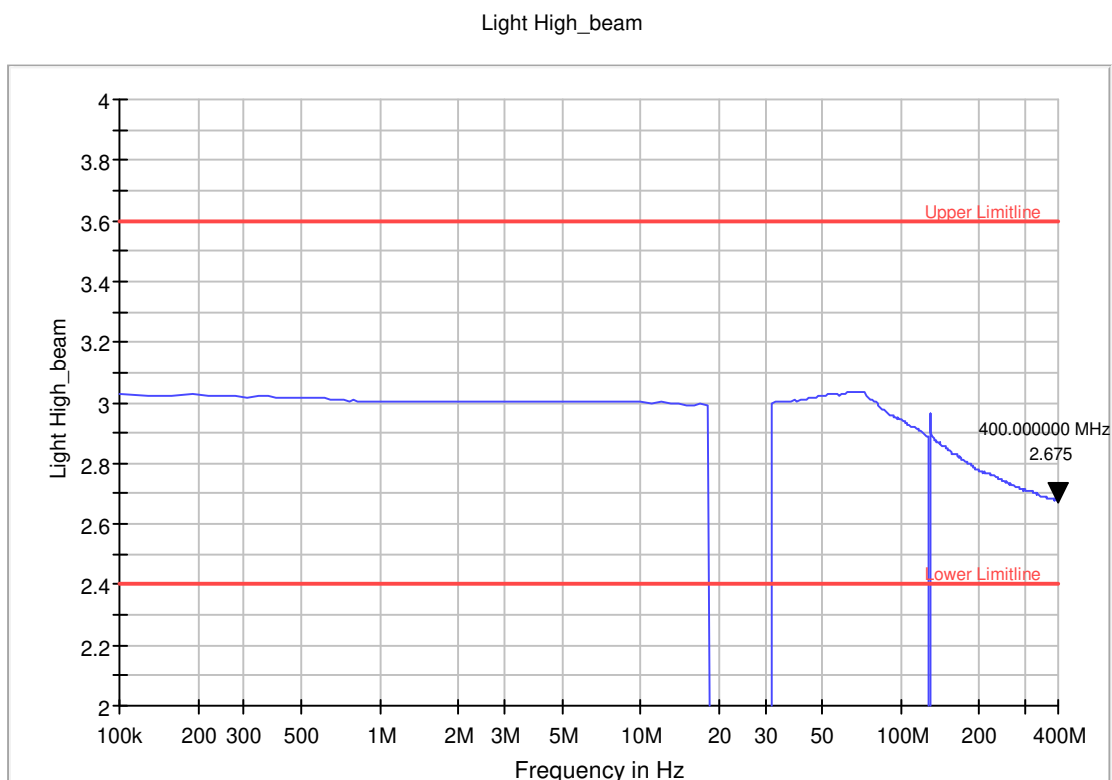
Jednou z dalších výhod EMC32 je, že dokáže samostatně vygenerovat protokol z měření. Na Obr. 44 až Obr. 47 jsou zobrazené některé důležité grafy z testování vygenerované SW EMC32. Kompletní protokol je přiložen v příloze.



Obr. 44 Požadovaná testovací úroveň s NOK výsledkem

Na Obr. 44 je zobrazena požadovaná testovací úroveň. Růžová křivka značí definovanou proudovou úroveň, modrá křivka jsou její reálné hodnoty a červené body značí chybu v některém z monitorovaných grafů. To vše v závislosti na frekvenci.

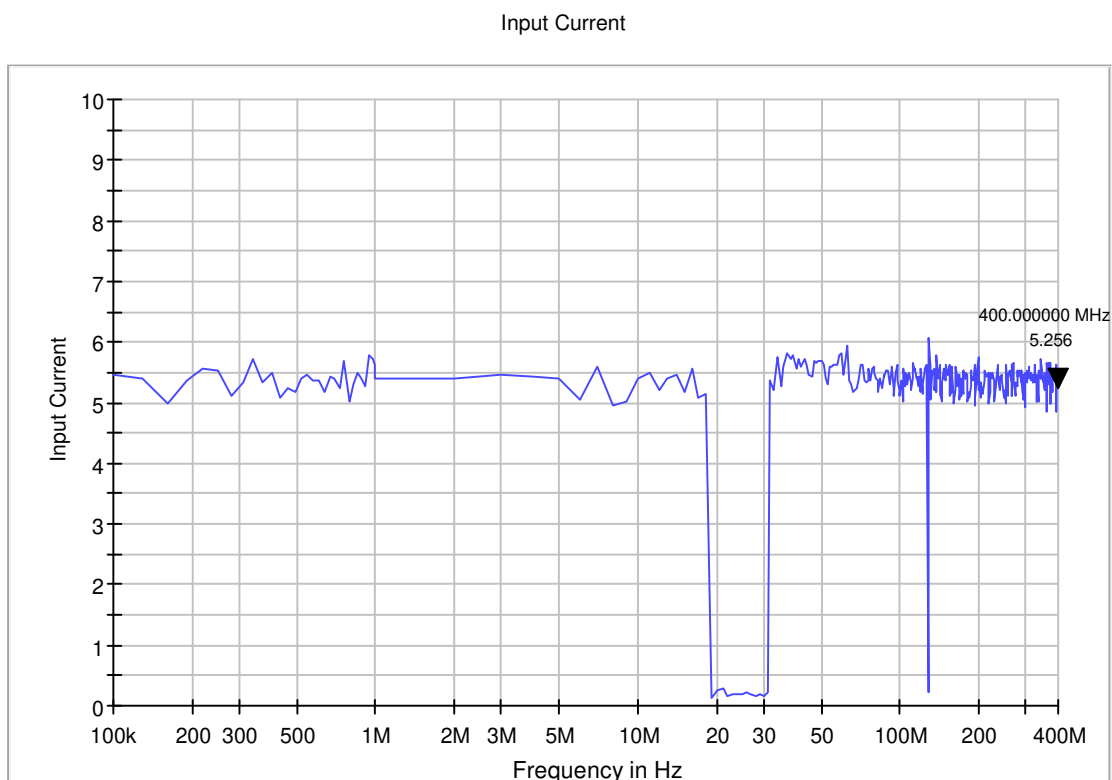
Na Obr. 45 je zobrazen světelný výstup High beam modulu, převedený pomocí fotodiody na napěťovou úroveň. Z grafu je patrné, že se jedná o NOK výsledek, kdy jsou zaznamenány dva případy, kdy se snímaná úroveň dostala mimo červené značené limity. V prvním případě v rozmezí 19 MHz až 31 MHz šlo o výpadek komunikace. V druhém případě byl záměrně spuštěn referenční běh světlometu, kdy se vypnou světelné výstupy a světlo se vyresetuje. Tato chyba byla záměrná, a to z důvodu odzkoušení mikrofonu.



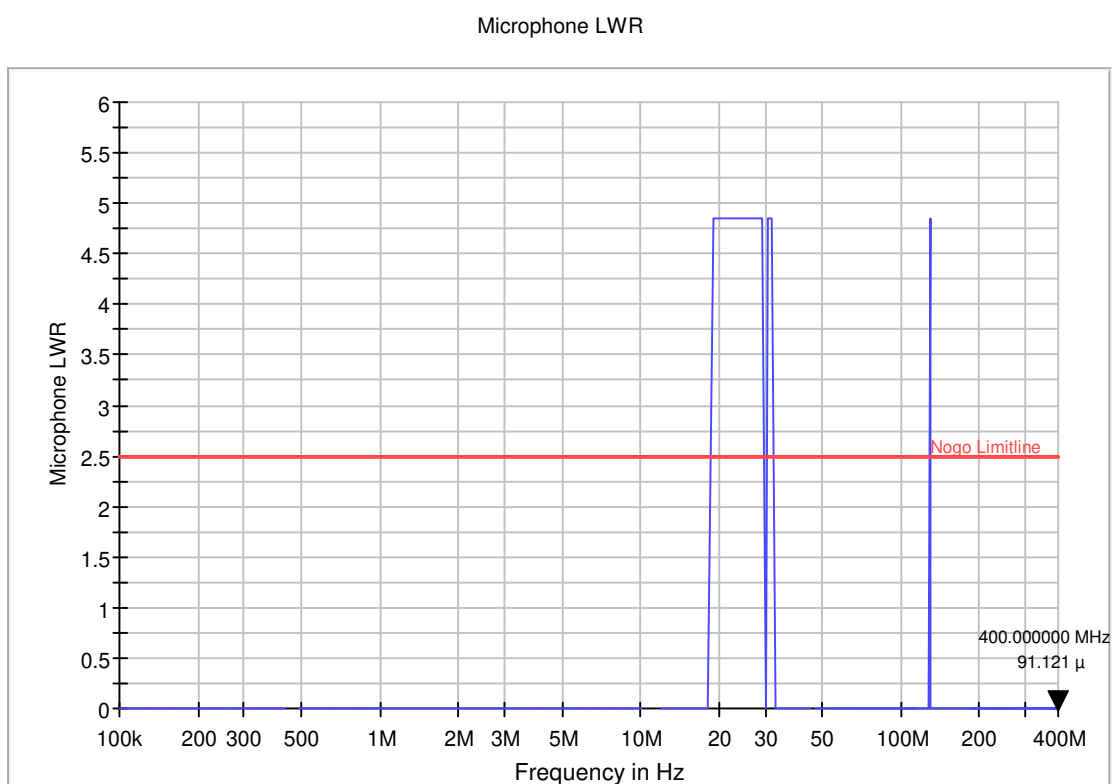
Obr. 45 Světelný výstup HB

Z odebíraného proudu zobrazeném na *Obr. 46* lze poznat, v kterou chvíli byl světlomet v chybovém stavu a také to, jak se měnil proud v rozsahu od 5 A do 5,6A v závislosti na pohybu motorku.

V posledním grafu (*Obr. 47*) jsou zobrazena data zasílaná z vytvořené aplikace. Z grafu je patrné, že je v tomto případě funkční. Během výpadku komunikace ani během referenčního spuštění se totiž krokový motorek nehýbal a v tom případě se správně vyhodnotila data z mikrofonu jako NOK.

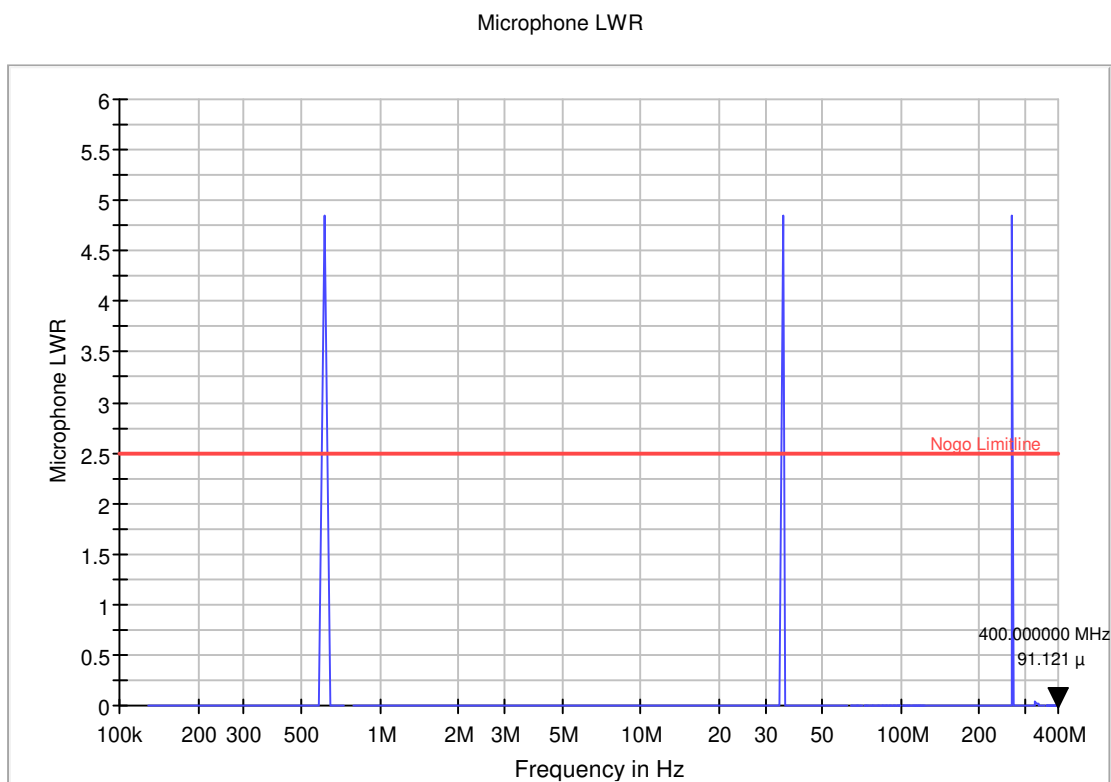


Obr. 46 Odebíraný proud světlometu



Obr. 47 Data z kontroly mikrofonom dynamického módu

Při validaci měření off-módu se postupovalo podobně, změnou bylo nastavení jiného měřicího módu v ovládacím softwaru a úprava limit v EUT monitoringu.



Obr. 48 Data z kontroly mikrofonom off-módu

Během testování se několikrát záměrně pohnulo motorkem a kontrolovalo se, zdali se chyba projeví v monitorování EMC32. S výsledkem, že testování měřicího systému proběhlo úspěšně a vždy se zobrazilo chybové hlášení.

4 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo sestavení měřicího systému pro měření akustického signálu uvnitř EMC komory, a to se záměrem monitorování světlometů během imunitního testování. Jedním z hlavních úkolů bylo navrhnout aplikaci, která bude kontrolovat krokový motorek umístěný uvnitř světlometu.

Celý navržený měřicí systém je sestaven ze speciálního optického mikrofonu Fomic-SM 2140 umístěného uvnitř odstíněné komory, měřicí karty USB-6210 sloužící k převedení analogových hodnot z mikrofonu na digitální, a aplikace vytvořené ve vývojovém prostředí LabVIEW sloužící k vyhodnocování snímaných dat a zároveň k informování uživatele o případných chybách.

Doposud je možné využívat aplikaci během dvou základních testovacích módů světlometů. Prvním módem je takzvaný off-mód, při němž jsou vypnuty veškeré funkce a monitoruje se, zdali se motorek v důsledku rušení nepohnul. Druhým testovacím módem je dynamické měření, během kterého se střídá poloha krokového motorku v definovaných intervalech. V tomto případě aplikace kontroluje, zdali se motorek nezastavil.

Pokud nastane chyba v některém měření, zašle se tato informace přes digitální výstup karty do komplexního vyhodnocovacího SW EMC32, který ovládá veškeré komponenty potřebné k měření emisních nebo imunitních testů. Tímto krokem byla zajištěna vzájemná kompatibilita

Ověřovací měření a validace výsledků byly při reálném měření imunitních testů světlometu, konkrétně BCI testování, kdy se za pomoci sondy injektuje rušivý proud do kabeláže testovaného předmětu. Během testování se zkoušely možné případy chování krokového motorku a vyhodnocovaly se reakce navrženého měřicího systému. Systém vždy detekoval na chybu a tím ověřil svoji funkčnost.

Tím, jak se neustále vyvíjí automobilový průmysl a v něm zahrnutá světelná technika, není snadné odhadnout kterým směrem se bude dále ubírat, ať už to budou laserové světlometry nebo projektorové jednotky, tak stejnou rychlostí se budou vyvíjet i zkušební metody. Proto je velice pravděpodobné, že se i tato práce bude dále rozšiřovat a vylepšovat. Ovšem nejbližší rozšíření systému se očekává připojení druhého mikrofonu mimo EMC komoru, a to z důvodu odstranění možných náhodných zvuků, které by se mohly promítnout uvnitř komory, a tím by mohly degradovat testování a funkčnost systému.

Použitá literatura:

- [1] SVAČINA, J. *Elektromagnetická kompatibilita*. Přednášky. Brno, Ústav UREL FEKT VUT, 2002. 171 s.
- [2] SMETANA, Ctirad. *Měření hluku a chvění*. Praha: Statni nakladatelství technické literatury, 1974. 211 s., ISBN 04-526-74
- [3] JURA, Pavel. *Signály a systémy*. Brno, 2009. Skripta. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT.
- [4] *Konstrukce mikrofونů* [online]. [cit. 2019-01-14]. Dostupné z: http://www.elektroakustika.cz/types_microphones.html
- [5] *Mikrofony*. Encyklopedie fyziky [online]. 2006 [cit. 2019-01-12]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/377-mikrofony>
- [6] *Regulace sklonu světlometů*. [Http://www.autolexicon.net/](http://www.autolexicon.net/) [online]. 2018 [cit. 2019]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/regulace-sklonu-svetlometu/>
- [7] *NI USB 6210: User manual* [online]. [cit. 2019-01-14]. Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/manuals/371931f.pdf>
- [8] The Optical Microphone: Introduction of a new technology. *D-nb.info* [online]. Liverpool, 2005 [cit. 2019-01-14]. Dostupné z: <https://d-nb.info/1020135263/34>
- [9] *MEMS microphone* [online]. 2017 [cit. 2019-01-12]. Dostupné z: <http://www.eeherald.com/section/design-guide/mems-microphone.html>
- [10] WITTASSEK, Tomáš. *Virtuální instrumentace I: učební text* [online]. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2014 [cit. 2019-01-14]. ISBN 978-80-248-3395-8.

Seznam příloh na CD:

LabVIEW aplikace

Test report měření dynamického módu

Test report měření off módu